Binjiang Diqu Shuiziyuan Baohu Lilun Ji Shijian

滨江地区水资源保护理论及实践

崔广柏　徐向阳　刘　俊　逄　勇　著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑：王德鸿
E-mail：wdh@waterpub.com.cn



ISBN 978-7-5084-6350-6
9 787508 463506
定价：58.00 元

销售分类：水利水电工程／水资源保护及利用

滨江地区水资源保护理论及实践

崔广柏　徐向阳　刘　俊　逄　勇　著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

水资源的可持续利用是全面建设小康社会目标实现的基础，如何实现水资源的可持续利用，是关系到经济社会可持续发展的一项极其重要的工作。长期以来，全国各地已经编制和实施了很多涉水规划，为经济社会发展提供了有力的支撑。但由于各类涉水规划内容往往分属不同的专项规划，对涉水问题缺乏统一规划和合理协调。本书以区域水资源综合规划应用为基础，对滨江地区水资源评价、预测及合理配置、节水减污、应急供水体系、水环境的评价、模拟和预测的理论和计算、水环境保护对策制定、水文计算方法、防洪安全校核、防洪减灾对策、水系规划模式、水生态保护、水景观和水文化建设、水权及水市场等相关理论进行了系统的总结，并对相关研究实例进行了分析。

本书可供水文水资源、环境科学、生态学等学科的科研技术人员、高等学校师生及相关管理部门有关人员阅读和参考。

图书在版编目（CIP）数据

滨江地区水资源保护理论及实践／崔广柏等著．—北京：中国水利水电出版社，2009

ISBN 978-7-5084-6350-6

Ⅰ．滨… Ⅱ．崔… Ⅲ．水资源-资源保护-研究-中国 Ⅳ．TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 034084 号

书　　名	**滨江地区水资源保护理论及实践**
作　　者	崔广柏　徐向阳　刘俊　逄勇　著
出版发行	中国水利水电出版社 （北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座　100038） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：（010）68367658（营销中心）
经　　售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：（010）88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排　　版	中国水利水电出版社微机排版中心
印　　刷	北京市兴怀印刷厂
规　　格	184mm×260mm　16 开本　20.5 印张　486 千字
版　　次	2009 年 7 月第 1 版　2009 年 7 月第 1 次印刷
印　　数	0001—3000 册
定　　价	**58.00** 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

隶属江海之滨的区域历来因水而兴、因水而富、因水而美、因水而灵。建国50多年来，历届党委、政府领导人民坚持不懈治水，初步建成了较为完备的防洪与挡潮、排涝、灌溉、供水等水利工程体系。滨江区域作为全国经济最发达、发展最快的区域之一，现代化、工业化、城市化的进程越来越快，与经济社会快速发展的要求相比，水资源利用保护存在明显的不协调、不适应，水多、水少、水脏、水生态恶化等水问题并存，已成为经济社会可持续发展的瓶颈。

滨江区域的许多市县政府确定了新时期“率先全面建设高水平小康社会、率先基本实现现代化”的发展战略。开展滨江地区水资源保护理论及应用研究。有效解决区域水问题，是关系到地方经济社会可持续发展的一项极其重要的工作。以崔广柏教授为首的水资源保护与利用科研团队，以长江三角洲为主要对象，经过10余年的研究与实践，提出了一套适合于滨江地区水资源保护和合理开发利用的理念、技术和方法，并在实践中取得瞩目的成效。

本书紧密结合滨江地区经济社会发展需求，以长江下游滨江地区的区域水资源综合规划为应用实例，综合考虑水安全、水资源、水环境、水生态、水景观、水文化、水运、水市场等涉水问题，将水资源保护与利用的理论和方法的研究成果用于实践并进行检验。研究人员不仅全程参加研究区域的水资源综合规划调研、编制直至评审工作，并且在规划批准后的实施过程中进行全程跟踪研究，总结经验教训，进一步改进、提升和完善水资源保护的理论和方法，真正做到理论与实践相结合。研究成果不仅为滨江地区，也为其他区域水资源保护和综合利用工作提供科学依据和实例典范。

全书分为6编26章。第1编总论，介绍了研究目的、背景、内容及主要特色；第2编滨江地区水资源利用研究，重点研究了滨江地区水资源评价、预测及合理配置理论和方法，以及节水减污、应急供水体系，并对水资源合理配置进行实例研究；第3编滨江地区水环境保护研究，主要研究滨江地区水环境的评价、模拟和预测的理论和计算，水环境保护对策制定，进行水环境保

护案例分析；第4编滨江地区防洪安全校核及水系规划研究，研究了滨江地区水文计算方法、防洪标准和防洪减灾对策，滨江地区水系规划模式，对滨江区域防洪及水系规划进行实例分析；第5编滨江地区水生态景观体系研究，探索了滨江地区水生态保护、水景观和水文化建设理念、方法及措施，对水生态景观体系的建立进行实例研究；第6编滨江地区水权及水市场理论，在分析水资源属性基础上就水权、水市场运作理论进行了探讨。

本书由崔广柏、徐向阳、刘俊、逄勇著。参加本书撰写的人员为：崔广柏、刘俊（第1编）；刘俊、卫臻、沈晓娟（第2编）；逄勇、高怡、陆建林（第3编）；徐向阳、王卫平（第4编）；徐慧、崔广柏、周锷（第5编）；张伟新、张伟龙、张其成（第6编）。本书的撰写过程中得到了江苏沿江各市县相关领导的大力支持，还有不少博士和硕士研究生参与了大量的野外监测及数据分析计算工作，在此一并表示感谢。

虽然本书各编作者都具有长期从事水文水资源、水环境、水生态、水景观、水文化及水安全方面的教学科研工作经验，但限于水平，难免有不妥之处，望读者批评指正。

著 者

2008年12月

目录

前言

第1编 总 论

第1章 研究目的及背景 …… 1
1.1 滨江地区水问题分析 …… 1
1.2 研究的目的和意义 …… 2
1.3 研究的背景和支撑 …… 3
第2章 研究内容及特色 …… 5
2.1 主要研究内容 …… 5
2.2 基本原则 …… 6
2.3 本书特色及创新 …… 7

第2编 滨江地区水资源利用研究

第3章 滨江地区水资源现状及问题 …… 11
3.1 水资源形势分析 …… 11
3.2 水资源量调查与计算 …… 13
3.3 水资源开发利用状况调查与评价 …… 15
第4章 滨江地区水资源合理配置 …… 20
4.1 水资源合理配置的思路 …… 20
4.2 需水预测 …… 23
4.3 供水预测 …… 26
4.4 水资源“量”的供需平衡分析 …… 27
4.5 水资源“质”的保护协调 …… 28
4.6 水资源配置推荐方案 …… 32
第5章 滨江地区生态环境需水计算方法 …… 33
5.1 生态环境需水概述 …… 33
5.2 生态环境需水的量化方法 …… 35
5.3 存在的问题 …… 41
第6章 滨江地区节水减污研究 …… 43
6.1 现状分析 …… 43

6.2 节水型社会建设 …… 49
6.3 农业节水减污 …… 51
6.4 工业节水减污 …… 54
6.5 城市节水减污 …… 57
第 7 章 应急供水体系 …… 59
7.1 必要性和可行性 …… 59
7.2 应急供水系统的组成 …… 60
7.3 应急供水联动体系 …… 63
第 8 章 江阴市水资源合理配置实例分析 …… 67
8.1 水资源条件 …… 67
8.2 江阴市需水预测 …… 69
8.3 水资源“量”的配置 …… 71
8.4 水资源“质”的协调分析 …… 72
参考文献 …… 74

第 3 编 滨江地区水环境保护研究

第 9 章 滨江区域水环境数学模型 …… 77
9.1 河道及河网区水环境数学模型 …… 77
9.2 水体的水流水质数学模型 …… 80
9.3 湖泊及水库富营养化模型 …… 83
第 10 章 水体纳污能力计算 …… 86
10.1 水环境功能区划 …… 86
10.2 设计水文条件的选取 …… 87
10.3 水质降解系数确定方法 …… 88
10.4 水体纳污能力计算方法 …… 89
第 11 章 污染源控制途径 …… 92
11.1 工业污染源 …… 92
11.2 生活污染源 …… 95
11.3 农业污染源 …… 97
第 12 章 滨江区域水环境保护措施 …… 106
12.1 截污 …… 106
12.2 调水 …… 109
12.3 生态清淤、生态修复和优化水系整治河道 …… 113
12.4 水安全应急体系研究 …… 116
第 13 章 滨江区域水环境保护案例分析 …… 121
13.1 截污改善水环境案例分析 …… 121
13.2 引水改善水环境案例分析——以常熟市海洋泾为例 …… 129
13.3 清淤改善水环境案例分析——以太仓市城区为例 …… 130
参考文献 …… 133

第 4 编　滨江地区防洪安全校核及水系规划研究

第 14 章　滨江地区洪涝灾害成因与特点 …… 135
14.1　洪涝灾害的成因分析 …… 135
14.2　洪涝灾害的主要特点 …… 140
第 15 章　防洪安全校核 …… 143
15.1　防洪安全校核目的和原则 …… 143
15.2　技术路线和主要工作内容 …… 144
15.3　防洪规划的编制依据 …… 147
15.4　防洪安全校核中的若干关系分析 …… 149
第 16 章　防洪排涝标准确定及衔接 …… 151
16.1　防洪标准的确定 …… 151
16.2　城市化地区排涝与排水标准的衔接 …… 153
第 17 章　防洪对策与措施 …… 158
17.1　防洪减灾体系 …… 158
17.2　防洪工程措施 …… 159
17.3　排涝工程措施 …… 162
17.4　非工程防洪措施 …… 166
第 18 章　滨江地区水文计算方法 …… 173
18.1　概述 …… 173
18.2　设计暴雨计算 …… 173
18.3　产流计算 …… 177
18.4　坡面汇流和河网入流计算 …… 182
18.5　圩垸排涝模数的计算 …… 183
18.6　河道汇流计算 …… 185
第 19 章　滨江地区水系规划 …… 187
19.1　滨江地区水系特点及问题分析 …… 187
19.2　水系规划的目的与原则 …… 188
19.3　水系规划的任务 …… 190
19.4　水系规划中的生态与景观设计理念 …… 194
第 20 章　区域防洪与水系规划实例分析 …… 198
20.1　张家港市防洪计算 …… 198
20.2　太仓市骨干河网规划 …… 205
参考文献 …… 216

第 5 编　滨江地区水生态景观体系研究

第 21 章　滨江地区水生态保护理论与方法 …… 217
21.1　滨江地区水生态特征与问题辨析 …… 217

21.2 滨江地区水生态保护研究的理论基础 …… 220
21.3 滨江地区水生态区划研究思路 …… 223
21.4 滨江地区水生态评价指标体系 …… 229
21.5 滨江地区水生态系统调控模式及其实现途径 …… 231
21.6 滨江地区水生态系统调控的工程措施 …… 234
第 22 章 滨江地区水景观建设的理论与模式 …… 238
22.1 滨水景观概述 …… 238
22.2 我国滨江地区水景观建设现状与存在问题 …… 240
22.3 滨水景观构建的理论基础 …… 243
22.4 滨水景观评价指标体系与方法 …… 246
22.5 滨江地区滨水景观规划的模式与程序 …… 252
22.6 滨水景观与防洪、生态之间关系的协调 …… 260
第 23 章 滨江地区的水文化建设 …… 262
23.1 水文化概念 …… 262
23.2 水文化规划建设的主要内容 …… 264
23.3 水文化建设的意义 …… 268
第 24 章 滨江地区水生态景观体系建设实例 …… 269
24.1 江阴市水生态调控研究 …… 269
24.2 太仓市水景观格局的构建 …… 273
24.3 常熟市水文化建设 …… 280
参考文献 …… 282

第 6 编 滨江地区水权及水市场理论

第 25 章 水资源属性和水权 …… 287
25.1 水资源属性 …… 287
25.2 水权理论概述 …… 288
25.3 水市场运作的可行性 …… 289
25.4 水市场运作的必要性 …… 292
第 26 章 水市场运作与政府监管 …… 294
26.1 国内外概况 …… 294
26.2 水市场运作及其政府监管的总体思路 …… 300
26.3 水市场运作模式 …… 304
26.4 水市场运作结构 …… 309
26.5 政府监管 …… 316
参考文献 …… 318

第1编 总 论

第1章 研究目的及背景

1.1 滨江地区水问题分析

滨江地区主要指七大江河流域的河谷地区及中下游的广阔平原地区，包括东北地区的三江平原、松嫩平原、辽河平原，黄河流域的巴盟河套平原、关中平原，海河流域中下游平原，淮河流域的淮北平原、滨湖洼地、里下河水网圩区，长江流域的江汉平原、鄱阳湖和洞庭湖滨湖地区、下游沿江平原洼地、长江三角洲，太湖流域的湖东湖荡圩区，珠江流域的珠江三角洲等。本项研究的重点区域是淮河流域以南客水资源丰富、经济较为发达、人类活动影响显著的滨江区域，并以长江三角洲为主要的应用研究基地。

滨江地区多为洪水滩地或冲积平原，兼有一些丘陵区域，地势平坦，降雨充沛，水资源较为丰富。由于滨江临湖，水面率远高于山区，水系发达，交通航运便利。滨江地区拥有良好的地形、富饶的土地、丰富的水源、发达的水系，是人类最好的栖息地，成为我国人口最为密集、经济最为发达的地区。

滨江地区特有的地形、气象、水系条件，造成区域的水文规律十分复杂，洪、涝、潮、旱情交替出现，严重威胁人们的生命财产的安全。为此，滨江地区人民在与自然界的斗争中，建设了大量的水利工程，为减缓人类遭受自然水灾害起到了重大作用。尤其是新中国成立以来，滨江地区水利事业得到长足的发展，初步建成了较为完备的防洪、挡潮、排涝、灌溉、供水等水利工程体系，为地区经济社会快速发展提供了坚实的保障。

滨江地区显著的人类活动，包括工业活动、农业活动、生活活动、水利建设等，在原有水灾害的基础上，又增添了新的水问题，这已经引起人们极大的重视。与经济社会快速发展的要求相比，滨江地区水资源保护和开发利用中存在明显的不协调、不适应的状况，水多、水少、水脏、水生态恶化等水问题并存，尤其以资源匮乏和污染为主要特征的水资源危机已经成为滨江地区经济社会可持续发展的主要制约因素。

1. 当地水资源不足

滨江地区城市化程度、人口密度和经济活动强度高，需要大量的水资源。虽然，一些地区具有充沛的过境水可供开发利用，但过境水多数需要通过修建闸坝或泵站进行拦、蓄、提、引等手段才能实现，需要消耗大量的人力和物力。随着人口增长以及社会经济的

快速发展，滨江地区对水的需求量不断增加，水资源紧缺的矛盾日益加剧，尤其是长江以北的一些流域，如黄河流域、海河流域中下游滨江城市和农村的缺水状况已经凸现，成为制约当地经济与社会发展的重要因素。

2. 水质型缺水

近年来，由于滨江地区工农业发展迅速，生活污水和工业废水数量急剧增加，但处理水平却没有相应提高，再加上农业非点源污染的影响，致使地表和地下水受到不同程度的污染。例如，目前江苏省70%以上的河湖水质超标，75%以上的城市供水水源遭受到不同程度的污染，一半以上地区出现水质型缺水。典型例子是2007年5～6月，太湖受富营养化和高温天气的影响，蓝藻大面积暴发，对当地人民的生产生活造成了严重影响。由水环境严重污染引发的水质型缺水已成为影响滨江地区经济社会发展的重要因素之一。

3. 洪涝灾害频发

滨江地区地处流域中下游，需要承泄上游的汛期来水；此外由于境内地势低洼、排水困难，常常形成外洪内涝灾害，对本地人民的生命财产和生态环境造成了严重的破坏。例如，1954年长江流域洪水、1975年淮河流域洪水、1991年江淮洪水、1999年太湖流域洪水，都造成重大洪涝灾害。近年来，滨江地区经济迅速发展，洪涝灾害造成的损失日趋严重。

4. 水资源管理不善

人类活动在生产生活中，过度开发资源及管理不善造成很多不良后果，如填湖（河）造田、侵占滩地，造成河湖调蓄能力降低；用水效率不高，造成水资源浪费严重；水系人工化，造成水面率减少，水生态系统受到破坏；管理不善，造成河道淤积、易发生突发性污染事故等。

1.2 研究的目的和意义

水是基础性的自然资源、战略性的经济资源和公共性的社会资源。今后一个时期，滨江地区面临经济的快速发展、人口的持续增长、城市化水平的提高、产业结构的调整，需要以水资源作为支撑和保障。经济社会的发展对水资源的合理开发利用将提出新的更高的要求，如何有效解决四大水问题就成为非常紧迫的任务。本研究在充分调研国内外水资源保护、开发和利用的理论和实践的基础上，针对滨江地区社会经济发展出现的新情况和新问题，以水资源合理开发利用为主线，确立人与自然和谐相处的发展方针，构建滨江地区资源水利新体系，探索滨江地区治水的新理念，建立适合滨江地区水资源保护理论，并应用于滨江地区水资源综合规划，为滨江地区实现水资源的可持续利用、保障地区经济社会可持续发展提供科学依据。

通过本研究，力图实现以下目标：

（1）坚持全面协调可持续的科学发展观，坚持以人为本，人与自然和谐共处的治水新理念，努力开创水利服务于滨江地区社会经济发展的战略目标，提高支撑经济社会发展的能力。

（2）针对滨江地区出现的新情况和新问题，以水资源的可持续利用支持滨江地区社会经济可持续发展的战略思想，逐步确立人与自然和谐相处的发展方针，探索滨江地区治水

新理念。

（3）以现代水利、资源水利的思路，努力满足经济社会发展对防洪安全、饮水安全、粮食用水安全、经济用水安全和生态用水安全的需求；根据水资源承载能力和水环境承载能力，对经济社会发展结构、布局和规模提出合理建议。

（4）以水资源合理开发利用为主线，逐步从水量支持滨江地区社会经济发展转变为水量水质并重来全面支持滨江地区社会经济的发展，构建滨江地区资源水利新体系，确保滨江地区社会经济的可持续发展。

（5）结合滨江地区的实际和需要，以改善地区水环境质量为研究重点，在控制污染物排放基础上，通过优化水资源配置的方法，提高水体污染物的纳污能力与净化功能，系统科学地规划涉水事务，加强与各涉水部门的通力合作，充分反映各涉水部门的需求，发挥水资源的高效利用，统筹涉水工程的合理布局，为人与自然的和谐共处奠定基础。

（6）充分考虑水生态、水景观和水文化的建设，着力构建滨江地区生态水利体系，挖掘滨江地区传统水文化，培育现代水文化，充分发挥水景观的载体功能和旅游功能。良好的滨水景观是现代化城市建设的重要内容，把水景观融入城市景观，充分挖掘以水景观为基础的水旅游内涵，提高水上旅游的规模与质量。

（7）按“安全，资源，环境”三位一体的规划思路，以水功能区划为基础，以水系规划为蓝本，进一步着手建立水资源开发利用中的水安全以及人与自然和谐共处的保障体系。

（8）以滨江地区城市总体规划和社会经济发展规划为依据，紧密围绕政府的中心工作，与滨江地区相关行业规划相衔接，全面提高水利服务于社会经济发展的水平。

本研究的成果有利于科学地开展区域水资源综合规划工作，作为今后一定时期内水资源开发利用与管理的重要依据，逐步建立起保障经济社会安全的高标准防洪减灾体系、促进经济社会发展的水资源有效供给体系、维护生态安全的水环境保护体系、适应社会主义市场经济要求的水利服务体系，促进和保障全区人口、资源、环境和经济的协调发展，以水资源的可持续利用支持滨江地区经济社会的可持续发展。

1.3 研究的背景和支撑

针对水安全、水资源、水环境的问题，加强对水资源的统一管理和综合规划是我国近期最为重要的国策之一。

2001年3月，第九届全国人民代表大会第四次会议批准了《国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》，提出科学制定并积极实施全国水利建设总体规划和大江大河流域规划，强调要把改善生态、保护环境作为经济发展和提高人民生活质量的重要内容，以遏制生态恶化，提高城乡环境质量。

2002年3月原国家计委、水利部会同有关部门联合部署了全国水资源综合规划编制工作，计划用3年左右时间制定全国、流域和各省（自治区、直辖市）以及重要城市的水资源综合规划。同年8月，水利部颁布了《全国水资源综合规划技术大纲》与《全国水资源综合规划技术细则（试行）》，要求各流域机构抓紧组织编制流域水资源综合规划工作大纲和技术细则，同时要求各流域机构和各省（自治区、直辖市）要尽快启动规划编制

工作。

2002年8月29日，第九届全国人大常务委员会第二十九次会议通过《中华人民共和国水法》，规定了国家制定全国水资源战略规划，同时指出开发、利用、节约、保护水资源和防治水害，应当按照流域、区域统一制定规划；规定国家对水资源实行流域管理与行政区域管理相结合的管理体制，国务院水行政主管部门负责全国水资源的统一管理和监督工作，直接推动了水资源统一管理的实施。根据《中华人民共和国水法》，由国务院批复的水资源综合规划将具有法律效力，是水资源统一管理的重要依据。水资源综合规划关于节约和保护水资源的规定，是对各种与水相关的经济社会活动行为的法律约束，保证我国水资源能够实现可持续利用。

2003年3月，水利部与原国家计委联合发布了《关于开展全国水资源综合规划编制工作的通知》，通知指出水资源短缺和水环境恶化问题已成为影响部分地区经济社会稳定和可持续发展的重要制约因素，加快全国水资源综合规划工作，尽快制定全国水资源综合规划，确定水资源优化配置、开发、利用、节约、保护、管理的总体布局和对策措施，提出重要区域及城市的应急供水预案和供水对策，确保供水安全是一项十分急迫的任务。

2005年7月，水利部水利水电规划设计总院和全国水资源综合规划技术工作组在审定各流域调查评价成果，对流域和全国成果进行最终协调、平衡和集成分析的基础上，完成了《中国水资源及其开发利用调查评价》详细报告及各流域《水资源及其开发利用调查评价》简要报告。同年10月，全国水资源综合规划领导小组办公室在浙江安吉组织召开了流域水资源配置方案总体思路讨论会。会议要求各流域机构尽早着手编制规划报告，提出具有创新性，直观、简明、便于实施的水资源综合规划成果。

2006年2～3月，水利部水利水电规划设计总院在京召开了全国水资源综合规划的水资源保护规划与城市水资源规划成果汇总会。会议核定了配置阶段各流域水资源保护规划成果，对全国水资源保护规划成果进行了初步汇总；对全国660个城市的需水预测、节约用水、供水预测等基础数据进行了汇总和合理性检查。

全国水资源综合规划有关法规和文件是本项研究的重要支撑，为本项研究提供了思路和技术方向。针对滨江地区进行水资源保护理论和方法研究，也是对全国水资源综合规划在滨江地区应用的进一步深化，为滨江地区水资源综合管理和可持续利用提供科学依据。

第2章　研究内容及特色

2.1　主要研究内容

根据滨江地区水资源综合规划、建设与一体化管理的需求，本书涵盖水资源、水环境、水系、防洪排涝、水生态、水景观、水文化等多项内容。

1. 水资源开发利用

调查和评价我国滨江地区水资源利用现状、水资源及水环境承载力；科学预测可供水量和需水量，明确了生态环境需水的概念，并概括了具体的量化方法；根据滨江地区水质型缺水的特点，建立了水资源合理配置模式；针对滨江地区节水减污现状，提出了农业、工业和生活节水具体的措施；为应对突发性供水危机，构建了应急供水体系；提出适合滨江地区水资源保护和利用的工程布局、管理对策及保障措施，以水资源的可持续利用支持经济社会的可持续发展。

2. 水环境保护

研究了适合于滨江地区水环境分析计算的数学模型、设计水文条件选取及参数确定的方法；在调查分析滨江地区污染源现状、水环境现状的基础上，提出水环境功能区划、水体纳污能力计算、分区水质目标确定的途径；根据河湖水域特点，进行水资源保护和水环境质量改善的对策措施研究；根据经济社会可持续发展和生态环境保护的要求，提出水环境保护工程方案和非工程措施，促进滨江地区人口、资源、环境和经济的协调发展。

3. 防洪安全校核

深入分析了滨江地区洪涝灾害的发生成因、特点和未来变化趋势，根据社会和经济发展的需求，结合水资源、水环境、水生态、水景观及水运的综合要求，提出防洪校核的目的、要求和内容，确立了防洪排涝分区划分模式和防洪排涝标准的确定原则，研究了适合于滨江地区的水文水利计算模型和方法，综合各类涉水规划的要求，提出防洪排涝工程方案和非工程防洪措施。

4. 滨江平原水系规划

水系规划是在对现状水系调查的基础上，分析存在问题，综合考虑防洪排涝、水资源配置、水生态环境保护、水景观建设、水运等方面要求，对水系进行合理调整，确定河道规模和河道功能，拟定河道疏浚、整治方案，建立一个满足水安全、水资源、水环境及航运需求的骨干河网。

5. 水生态景观体系

探索滨江地区各种生态因子相互联系、相互制约的关系，按照区域不同等级生态环境的整体联系性、空间连续性、相似性和相异性，研究生态过程特征和服务功能重要性以及人类活动影响强度，构建自然宜居、环境友好的生态空间安全网架体系，提出重要生态功

能区保护和水生态系统保护与管理措施，制定水土保持规划方案与管理措施。以“人与自然和谐共处”为理念，以景观生态学原理为指导，将水景观的建设纳入城市景观格局的大系统中，创建现代化的、体现滨江自然与文化精神的滨水景观，实现滨水空间景观的生态、旅游、文化功能的统一和可持续发展。

6. 水权及水市场理论

系统地阐述水资源和水市场的属性概念、现状以及水市场运作模式等，在借鉴国内外的做法和经验基础上，探讨了我国水市场运作的发展趋势和路径；研究如何发挥政府监管在水资源和水市场运作中的作用，达到水资源的最合理利用；提出了建立和健全水资源和水市场的管理体制机制，着力于从中央到地方、从流域到区域、自上而下、权威高效、运转协调的水资源和水市场管理体制，并在流域管理、区域管理、功能管理和依法管理上进行协调创新，促进水资源和水市场的可持续发展。

2.2 基本原则

1. 以人为本的原则

着力解决与人民切身利益密切相关的水问题。要从保障人民生命财产安全、提高人民群众生活水平和生活质量的实际要求出发，确保防洪安全和供水安全，不断改善水环境，努力满足社会对饮水保障、防洪安全、粮食安全、经济发展、生态环境等方面的需求。

2. 人与自然相和谐的原则

以水资源的可持续利用促进经济社会可持续发展。要遵循自然规律和经济规律，实现从工程水利向资源水利，从传统水利向现代水利、可持续水利的转变，充分考虑水资源和水环境承载能力，实现水资源的优化配置、合理开发、高效利用和有效保护。防洪减灾工作要实现由控制洪水向洪水管理转变，在防御洪水对人类危害的同时，也要规范人类活动，给洪水留有出路，努力建设人与自然和谐的综合防洪减灾体系。要正确认识和处理好发展与保护的关系，既要发挥水资源对经济社会发展的支撑和保障作用，也要进一步重视加强对水生态、水环境的综合治理和保护。

3. 水资源开发利用与经济社会协调发展的原则

发挥水资源对经济社会发展的基础和支撑作用。规划要围绕提升服务经济和社会发展的保障能力，确定水资源开发、利用、保护、治理和水利发展的目标、标准、规模和速度，做到与经济社会发展水平相适应并适度超前。经济社会的发展要与水资源的承载能力相适应，城市发展、生产力布局、产业结构调整以及生态环境建设都要充分考虑水资源条件。在提高水利基础设施服务于经济社会发展能力的同时，要充分发挥政府对水资源的社会管理和公共服务职能，不断拓展水利的管理和服务领域。

4. 全面规划和统筹发展的原则

坚持全面规划、统筹兼顾，要与流域、区域水规划、城市总体规划相协调和衔接，统筹考虑防洪除涝、水资源调配、水环境保护的综合治水目标，城市水利与农村水利协调推进，工程性措施与非工程性措施有机结合。要统筹协调生活、生产和生态用水，合理配置地表水与地下水、当地水与过境水、常规水源与非常规水源等多种水源，对要求与供水可能进行合理安排。在重视水资源开发利用的同时，强化水资源的节约与保护，以提高用水

效率为核心，把节约用水放在首位，积极防治水污染，实现水资源可持续利用。

5. 因地制宜、突出重点的原则

要按照统筹城乡发展、统筹区域发展的要求，统筹考虑城乡水资源问题。又要根据滨江地区实际，区别不同的地理环境和水利条件，区别城市、农村和开发区不同的生产力布局和功能特性，制定具有针对性和切实可行的治理方案，合理确定不同地区的水利工程建设布局和调度模式。

6. 机制创新与科技创新的原则

增强水利事业的持续发展能力。按社会主义市场经济规律治水，通过体制改革和制度创新不断增强水利发展的动力。要运用国内外先进的治水理念和治水经验，改革水资源管理体制，加强城乡水资源统一管理。探索以经济手段为主的节水机制，实行水资源优化配置。深化水管单位体制改革，要加强水利投融资体制、水利建设管理体制、水价形成机制、水利工程产权制度等方面的改革，理顺体制，健全法制，改革机制，促进水利事业全面发展。要按照水利现代化的发展目标，积极运用先进科学技术，努力提高规划的科技含量和创新能力。要运用现代化的技术手段、技术方法和规划思想，科学配置水资源，缓解面临的主要水资源问题，并用先进的信息技术的手段管理水资源，制定出具有高科技水平的现代化水利规划。积极推进水利科技创新，大力提高水利信息化水平，以水利信息化推进水利现代化。

2.3 本书特色及创新

本书充分反映了滨江地区的特色，结合滨江地区经济社会发展需求，针对水安全、水资源、水环境、水生态、水景观、水文化、水市场等多项涉水问题进行深入研究，对适合滨江地区水资源保护理论和方法进行了探索、总结和提升，提出具有创新理念的理论体系及计算模式，在新农村建设、节水型社会建设、节能减排、水安全保障体系的建立等方面，获得了具有前瞻性的研究成果，并较好地指导滨江地区的水资源综合规划编制工作，为滨江地区实现水资源的可持续利用提供了科学依据，同时也为其他区域水资源综合开发利用研究提供了理论和实践应用上的借鉴。

长期以来，水安全、水资源、水环境、水生态、水景观、航运等涉水规划往往分属水利、环境、市政、交通、园林等多部门的管理，涉水规划内容往往各自为政、相互矛盾，降低了规划方案的合理性和可行性，造成水资源的综合效益难以充分发挥。本书突破了传统的水利规划模式，系统地提出水资源综合规划的理念、理论、方法以及工作方式，建立了集水安全、水资源、水环境、水生态、水景观、水文化为一体的区域性水资源综合规划模式，创新性地提出在水资源综合规划中引入防洪安全校核的理念，对滨江地区水权及水市场理论进行了探索，从根本上解决了分部门涉水规划及单项水利规划存在的不衔接问题，保证了水资源综合规划的合理性和可实施性，为水资源一体化管理的实施提供了可靠依据和可行途径。

我国滨江地区水质型缺水是水资源保护和利用中遭遇的最主要矛盾，采用以水量平衡为目标的水资源配置方法不能解决滨江地区水资源问题。本书从经济社会可持续发展角度，根据滨江地区水质型缺水的主要矛盾，完善和创新了水质型缺水地区水资源利用、保

护和配置的理论及方法，从各发展阶段水功能区划达标的角度，重点考虑水资源保护需求，根据水体纳污能力，提出了综合考虑水量与水质的平衡分析模式，以此为基础实施区域的水资源合理配置。

为了更好地研究滨江地区水环境保护措施，分析了适用于滨江地区的各类水环境数学模型，研究了滨江水体纳污能力计算的各种方法，提出了水域纳污能力的主要影响因子——水环境功能区划、水文设计条件、水质降解参数的确定原则和方法，提出了各类污染源排放量及入河量的预测方法。在分析污染物入河量与水体纳污能力平衡关系的基础上，针对工业、生活和农业污染源，分析了各类污染源控制途径，提出滨江地区水环境保护措施，包括截污、调水、生态修复和清淤等，以削减污染源，增加滨江地区水体的纳污能力。

按照人居环境发展的内在需要，以人与自然和谐共处为理念，以景观生态学原理为指导，将水景观的建设纳入区域景观格局的大系统中，创建现代化的，同时体现滨江自然与文化精神的城市滨水景观，实现滨水空间景观的生态、旅游、文化功能的统一和可持续发展，促进滨江地区整体景观的完善。提出了水景观、水文化建设与发展策略，提出区域尺度滨水景观规划的模式，包括水景观规划原则、内容、流程及方法，并在区域水资源综合规划实践中创新性地予以应用。

系统地阐述水资源和水市场的属性概念、现状以及水市场运作模式等，率先探讨了我国水市场运作的发展趋势和路径，提出发挥政府监管在水资源和水市场运作中的作用，建立和健全水资源和水市场的管理体制机制，强化水资源统一管理，达到水资源的最合理利用。

以长江下游滨江市（县）为典型研究区域，包括张家港市、太仓市、常熟市、江阴市等，分别编制了各市（县、区）集水安全、水资源、水环境、水生态、水景观、水文化为一体的水资源综合规划。其中，张家港市水资源综合规划作为典范由水利部直接组织评审，太仓市、常熟市、江阴市由江苏省水利厅组织评审。规划成果在上述市（县）已经按实施计划得到实现，并在实施过程中进行了跟踪评估，成果已经在规划区域取得了巨大的经济效益、社会效益和环境效益。规划模式正在推广应用之中。

综上所述，本书的创新点可以归纳为：

（1）提出以政府为主导，多部门参与编制水资源综合规划的工作模式，建立集水安全、水资源、水环境、水生态、水景观、水文化为一体的区域性水资源综合规划方案，解决了分部门涉水规划或单项水利规划之间不衔接的问题。

（2）建立了水质型缺水地区水资源利用、保护和配置方法，拓展了传统水资源的配置的内容，将质与量进行了探索性的结合，提出了综合考虑水量与水质的多次平衡分析计算模式，探讨了节水的减污效益，提出了节水对减污重要性的新理念。

（3）针对平原感潮河网地区的水文特性，建立了原型试验与数学模型相结合的水文水质模拟分析模式，提高了平原河网区水文水质模拟结果的可靠性和合理性。

（4）构建体现区域水文化特色的人水和谐的水生态空间和滨水景观理念，提出包括水景观规划原则、内容、流程及方法的区域尺度滨水景观规划模式。

（5）对生态环境需水进行了详细系统的量化，建立了适合于平原河网区域水生态规划

的控制性指标体系。

（6）建立了城市排水与区域排涝标准之间的定量关系及衔接模式，满足了区域水资源综合规划中排水计算的合理性要求。

（7）提出水资源综合规划中引入水系规划和防洪安全校核的理念，创造性地提出水资源综合规划新模式。

（8）定量分析滨江地区调水、生态修复、河湖清淤等措施增加水体纳污能力的作用，提出以污染源削减、节水减排、中水利用为核心的综合污染治理方案。

（9）建立了滨江地区应急水源地建设的模式，包括水源河道、蓄淡避咸滩地水库、人工水源湖泊、水库、民井、深井、泉水及区域联合供水等工程措施。

（10）根据水安全、水资源、水环境、水生态、水景观的综合需求，提出平原河网地区的水面率、河道功能、水功能的确定原则，在此基础上提出适合于滨江平原河网地区水系规划理论及方法。

（11）提出政府监管在水资源和水市场运作中的作用，建立健全水资源和水市场的管理体制机制。

（12）在张家港市首次编制了集水安全、水资源、水环境、水生态、水景观、水文化为一体的区域性水资源综合规划，采用了地区政府领导负责、多部门参与的制度，规划实施后持续技术跟踪的方式，形成一套区域水资源综合规划的新型实用模式，并在其他地区得到推广。

第 2 编　滨江地区水资源利用研究

第 3 章　滨江地区水资源现状及问题

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源。在 2002 年南非约翰内斯堡举行的可持续发展世界首脑会议上，“水、能源、健康、农业和生物多样化”被列为五大可持续发展的世界性课题，对水的关注主要体现在 3 个领域：水与发展、水与环境和水的管理。实现水资源可持续利用，保障经济社会可持续发展，已成为一种全球性共识并正在世界范围推广和实践。

3.1　水资源形势分析

3.1.1　水资源特点

我国水资源总量并不丰富，人均占有量更低。我国淡水资源总量为 28000 亿 m^3，居世界第六位，人均 2300m^3，仅为世界平均水平的 1/4，是全球人均水资源最贫乏的国家之一。我国水资源的地区分布不均，水土资源不相匹配。长江流域及其以南地区国土面积只占全国的 36.5%，其水资源量占全国的 81%；淮河流域及其以北地区的国土面积占全国的 63.5%，其水资源量仅占全国水资源总量的 19%。滨江地区地处沿江，有着独特的水资源条件。

1. 过境水量丰沛

滨江地区雨量比较丰沛，但降水量年内年际分配不匀，全年大部分降雨集中在 6～8 月，主汛期经常遭受暴雨袭击，洪水压境，但扣除难以利用的洪水径流后，实际可利用的本地水资源量又偏少，一般远远不能满足经济、社会发展的要求，因此必须充分利用客水资源，才能解决水资源的供需缺口。

滨江地区经济发达，人口众多，工业化、城镇化程度较高，丰富的客水资源是滨江地区的重大优势。例如长江下游的江苏省南京市，总面积 6597km^2，多年平均长江径流量 9000 亿 m^3，20 世纪 90 年代以来，工业经济的 70%依托沿江产业，“九五”期间，南京约 1000 亿元的工业固定资产投资的 80%在沿江地区，沿江基本形成以大运输量、大耗水量、外向型为基本特征的沿江产业布局，这些产业的发展都离不开长江水资源的支撑。

2. 水体污染严重

水资源首先要从量与质上满足人类生活的基本需求，在一个特定的区域内，可用水资

源的多少并不完全取决于水资源数量，还取决于水资源质量。水质的好坏直接关系到水资源的功能，决定着水资源用途。20 世纪 80 年代以来，滨江地区水资源质量不断下降，水环境持续恶化，日趋严重的水污染进一步加剧了水资源短缺的矛盾，降低了水体的使用功能，缺水现象和各种水污染事故不断发生，严重威胁到滨江地区城市居民的饮水安全和人民群众的健康，已经造成了不良的社会影响和较大的经济损失。

3.1.2 开发利用的关键

充分合理开发利用客水资源是滨江地区水资源开发的关键，只有通过对水资源的合理开发、高效利用、优化配置、全面节约、有效保护和综合治理，才能实现水资源的可持续利用，保障经济社会的可持续发展。滨江地区水资源可持续利用需要重视和解决的关键问题主要有以下几个方面。

1. 树立水权观念和资源意识

水资源的永续利用是保障社会经济发展的物质基础。淡水资源是一种有限的、宝贵的战略资源，随着城市化水平的大幅度提高和沿江开发的大力推进，滨江地区水资源问题必将更加严峻。1998 年后，党中央、国务院把水资源问题提到了战略高度，提出“水是人类生存的生命线，是经济发展和社会进步的生命线，是实现可持续发展的重要物质基础。”2002 年 10 月 1 日实施的新《中华人民共和国水法》进一步完善了水权制度。滨江地区应坚持不懈地加大水法规宣传，牢固树立可持续发展观念、水权观念和资源意识；建立适应市场经济体制的水资源优化配置机制，发挥价格在配置基础资源中的杠杆作用，按照经济规律优化配置水资源。

2. 合理配置水资源

以科学规划为前提，以合理配置水资源为核心，根据流域、地区、经济、社会发展状况，建立具有整体性、权威性、科学性的统一的水资源规划体系，使滨江地区水资源管理逐步走上规范化、科学化的轨道。滨江地区大量取用水资源的同时，要满足维系生态平衡对水的基本需求，防止经济竞争中对水资源的无序开发利用，协调生活、生产和生态用水。

3. 加强水资源统一管理

水资源不可替代的特征加上区域的经济发展对水资源的依赖关系，使得水资源的统一管理变得尤其重要。目前，大城市水务统一管理在国际上已形成趋势，被证实是一种有效保护、合理利用水资源的先进管理模式。对水资源进行统筹考虑，强化水资源统一管理，是解决滨江地区日趋严重的水问题的有效途径，是提高水资源使用效率和效益的体制保证。

滨江地区部分城市“多龙管水”的体制已经严重束缚了生产力的发展。在水资源管理体制的调整中，职能转变是关键，权属管理是核心，理顺体制是保障。滨江地区应建立权威、高效、协调的水资源管理体制，对水资源实行统一规划、统一配置、统一调度、统一管理。对所有取水、退水项目都认真把关，实行严格的取水许可审批制度。只有在统一管理的基础上才能更好地开展水资源的开发、利用、节约和保护，最大限度地提高水的利用率，保证水资源供需平衡。

4. 加强水资源保护

水是城市发展的命脉。滨江地区水资源条件得天独厚，但水质问题不容乐观。几乎各种行业的经济活动，都会直接或间接地对水体造成污染，居民生活污水、工业废水的不合理排放以及较低的污水处理率，造成河流水质多处于超标状态。滨江地区沿江开发的优势在于水资源，保护水资源就是保护沿江开发的优势。

水功能区是实施纳污总量控制、合理制定流域和区域的水环境承载能力、加强水资源保护的基础。按照水功能区对水质的要求和水体的自然净化能力核定纳污能力，提出限制排污总量意见，保持水体自净化能力；依法加强入河排污口的监督管理，进一步规范入河排污口审批和监督管理，严格控制新污染源的排放；建立排污口档案制度，有重点地加强排污口监测，收集污染物排放资料，加强对用水户退水水质管理。

5. 提高水资源的利用效率

节水是经济社会可持续发展的必然要求，是城市进步的象征和社会文明的重要标志。在滨江地区新一轮的发展中，水将更多地和城市景观、人居环境、功能建设联系在一起，成为城市建设的支撑点和根本点。由于对水资源的需求将越来越大，必须把节水工作摆在突出位置，大力提高水资源利用效率和使用效益。

3.2 水资源量调查与计算

3.2.1 降水与蒸发

1. 降水

选用资料质量好、系列完整且面上分布均匀的雨量站作为统计分析依据，可适当收集外围资料，并对所选雨量站的年雨量资料进行合理性分析，特殊点据要查明原因。在降水量变化梯度较大的地区，选站应适当加密；点据稀少的地区，可增选一些资料系列较短的雨量站，通过插补延长后作为辅助点据。

年降水系列及其特征值和不同频率（$P=20\%$、50%、75%、95%）的年降水量可以采用算术平均法、网格法、泰森多边形法或其他方法计算，统计参数（$\overline{x}$、C_v、C_s/C_v）的计算方法因地制宜，$\overline{x}$ 一般用算术平均法；C_v 值一般先用矩法计算，再用适线法调整确定；C_s/C_v 值一般可采用 2.0，拟合不好的地区，可以调整 C_s/C_v 值。经验频率一般采用数学期望公式 $P=m/(n+1)\times 100\%$ 计算，频率曲线采用皮尔逊Ⅲ型分布或者正态分布，适线时应照顾大部分点据，主要按平、枯水年份的点据定线，对系列中的特大、特小值一般不作处理。

2. 蒸发

蒸发能力是指充分供水条件下的陆面蒸发量，可以近似用 E601 型蒸发器观测的水面蒸发量代替。干旱指数是指年蒸发能力与年降水量的比值，是反映气候干湿程度的指标。

选取资料质量好、面上分布均匀、观测年数较长的蒸发站作为统计分析依据，同时向气象部门收集蒸发、湿度、温度、风速和日照时数等资料，弥补现有资料的不足。不同型号蒸发器的观测值，应统一换算为 E601 型蒸发器的蒸发量。采用的折算系数尽量利用同站不同型号蒸发器的观测资料对比求得，并进行合理性分析，经流域机构统一协调后选定。选择观测年数长、资料质量好、蒸发器型号不变的蒸发站资料，分析水面蒸发量多年

变化趋势。

3.2.2 当地水资源量计算

对水资源数量、质量及其时空分布特征进行全面评价。考虑地下水补给、排泄条件以及地表水与地下水之间转化关系的变化，按近期下垫面条件评价地下水资源量和水资源总量，实现近期下垫面条件下地表与地下水资源的统一评价。地下水资源量按水文地质单元进行评价，然后将成果分配入水资源分区和行政分区。

一定区域内的水资源总量是指当地降水形成的地表和地下产水量，即地表径流量与降水入渗补给量之和。滨江地区水资源总量的计算公式为：

$$Q_{总}=Q_{地表}+Q_{地下不重复量}=Q_{地表}+Q_{雨}+Q_{侧} \tag{3.1}$$

式中 $Q_{总}$——当地水资源总量；

$Q_{地表}$——地表水资源量；

$Q_{地下不重复量}$——地下水资源不重复量；

$Q_{雨}$——降水入渗补给量；

$Q_{侧}$——江河侧向补给量。

地表水资源量是河流、湖泊等地表水体中由当地降水形成的、可以逐年更新的动态水量，用天然河川径流量表示。一般采用实测径流资料、降雨径流关系由降雨推求径流和水文模型等方法计算。滨江地区大多属于平原河网地区，水流流向不定，因此将滨江地区下垫面划分为水面、水田、旱地、城镇4种类型，根据各种下垫面的特征及不同的产流规律，利用水文模型由降水系列推求径流系列。滨江地区总产流量为4种下垫面产流量之和。

地下水资源量是指地下水体中参与水循环且可以逐年更新的动态水量。地下水资源量采用补给量法计算，同时计算排泄量和地下水蓄变量，并进行水均衡分析。多年平均降水入渗与地表水体补给量之和为地下水总补给量。多年平均地表水体补给量包括多年平均河道渗漏补给量、湖、库、塘渗漏补给量，田间灌溉入渗补给量等。

3.2.3 水资源可利用量计算

按照人口、资源、环境与经济社会协调发展的原则，综合考虑河川径流特征、地下水开采条件、生态环境保护和技术经济等因素，估算当地地表水资源可利用量、地下水资源可开采量和水资源可利用总量，为分析水资源承载能力提供依据。

地表水资源可利用量，是指在可预见的时期内，统筹考虑生活、生产和生态环境用水，在协调河道内与河道外用水的基础上，通过经济合理，技术可行的措施可供河道外一次性利用的最大水量。地表水资源可利用量应按流域水系进行分析计算，以反映上下游、干支流之间的联系以及整体性。

滨江地区地表水资源可利用量可以采用地表径流量扣除超出防洪标准而排入江河的不可利用的洪水量的方法计算。不可利用洪水量的计算，充分利用滨江地区内河河网的调蓄能力，依据汛期内河的控制水位，结合工农业生产内河用水量，进行逐日调节演算。

地下水资源可开采量是指在可预见的时期内，通过经济合理，技术可行的措施，在不致引起生态环境恶化条件下允许从含水层中获取的最大水量。地下水可开采量评价的地域范围为目前已经开采和有开采前景的地区。

平原区多年平均浅层地下水可开采量的确定方法有实际开采量调查法，适用于浅层地下水开发程度较高、浅层地下水实际开采量统计资料较准确完整且潜水蒸发量不大的地区；可开采系数法，适用于含水层水文条件研究程度较高的地区；多年调节计算法和类比法，用于缺乏资料地区等。山丘区多年平均地下水资源可开采量可根据泉水流量动态监测和地下水实际开采量等资料计算，也可采用水文地质比拟法估算。

滨江地区当地水资源可利用总量的计算，采取地表水资源可利用量与浅层地下水资源可开采量相加再扣除两者之间的重复计算量的方法估算。两者之间的重复计算量主要是平原区浅层地下水的渠系渗漏和渠灌田间入渗补给量的开采利用部分，可采用式（3.2）估算：

$$Q_{L总}=Q_{L地表}+Q_{L地下}-Q_{L重} \tag{3.2}$$

其中

$$Q_{L重}=\bar{n}\ (Q_{L渠}+Q_{L田}) \tag{3.3}$$

式中 $Q_{L总}$——水资源可利用总量；

$Q_{L地表}$——地表水资源可利用量；

$Q_{L地下}$——浅层地下水资源可开采量；

$Q_{L重}$——重复计算量；

$Q_{L渠}$——渠系渗漏补给量；

$Q_{L田}$——田间地表水灌溉入渗补给量；

$\bar{n}$——可开采系数，是地下水资源可开采量与地下水资源量的比值。

3.2.4 客水资源量

选取研究区边界附近的水文站，根据实测径流资料计算入境水量、出境水量，无测站控制的区域通过收集资料、调查分析和适当巡测，对进、出水量进行估算。

3.3 水资源开发利用状况调查与评价

3.3.1 供水现状

1. 供水基础设施调查

调查统计基准年地表水源、地下水源和其他水源三类供水工程的数量和供水能力，反映研究区供水基础设施的现状情况。供水能力是指现状条件下相应供水保证率的可供水量，与来水状况、工程条件、需水要求和运行调度方式有关。

（1）地表水源工程。分为蓄水工程、引水工程和提水工程，按供水系统统计，要避免重复计算。蓄水工程指水库和塘坝，按大、中、小型水库和塘坝分别调查计算。水库工程按总库容划分：大型水库≥1.0 亿 m^3，1.0 亿 m^3＞中型水库≥0.1 亿 m^3，0.1 亿 m^3＞小型水库≥0.01 亿 m^3。蓄水量不足 10 万 m^3 的称塘坝，不包括没有供水能力的鱼池、藕塘、坑塘。引水工程指从河道、湖泊等地表水体自流引水的工程（不包括从蓄水工程中引水的工程），按大、中、小型规模分别调查。提水工程指利用扬水泵站从河道、湖泊等地表水体提水的工程（不包括从蓄水工程中提水的工程），按大、中、小型规模分别调查。

（2）地下水源工程。指利用地下水的水井工程。

（3）其他水源工程。包括污水处理回用和海水利用等供水工程。污水处理回用工程指城市污水集中处理厂处理后的回用设施，统计其座数、污水处理能力和回用量。海水利用

包括海水直接利用和海水淡化，海水直接利用指直接利用海水作为工业冷却水及城市环卫用水等。

除了对水利部门所属的水源工程进行统计外，对其他部门所属的水源工程及工矿企业的自备水源工程都要进行统计。其中水厂指向城市、乡镇、农村供水的公共水厂（不含工业企业自用的自备水厂），供水范围指自来水供给所能覆盖的范围。调查所有公共自来水供水工程，包括水厂规模、供水范围、供水人口以及取水口水质状况等资料。

2. 供水量调查

供水量是指各种水源工程为用户提供的包括用水输水损失在内的供水量，又称毛供水量。农业供水从输水口开始计算输水损失，城市供水从水厂开始计算输水损失，水源取水口至输水口（或水厂）之间的输水损失另行统计，称为非用水输水损失。在受水区内，按取水水源分为地表水源供水量、地下水源供水量和其他水源供水量等3种类型统计。

（1）地表水源供水量。按蓄、引、提3种形式统计。为避免重复统计，从水库、塘坝中引水或提水，均属蓄水工程供水量；从河道、湖泊中自流引水的，无论有闸或无闸，均属引水工程供水量；利用扬水站从河流、湖泊中直接取水的，属提水工程供水量。跨流域调水量是指跨一级流域之间的调配水量，计入引水工程类。地表水源供水量应以实测引水量或提水量作为统计依据，无实测水量资料时可根据灌溉面积、工业产值、实际毛用水定额等资料进行估算。大型水库（包括平原湖泊型水库）在区域供水中具有重要作用，要对大型水库近10年的供水情况进行典型调查。

（2）地下水源供水量。指水井工程的开采量，按浅层水和深层承压水分别统计。浅层水包括潜水和弱承压水。城市地下水源供水量应以自来水厂的计量资料作为主要依据，同时要调查统计自备井的开采量。农灌井开采量的计量资料一般不全，无计量资料的可根据配套机电井数和调查确定的单井出水量（或单井灌溉面积、单井耗电量等资料）估算开采量，并进行分析和平衡校验。

（3）其他水源供水量。包括污水处理再利用和海水淡化等供水量。对未经处理的污水和海水直接利用量也需调查统计，但不计入总供水量中。

3.3.2 用水现状

用水量指分配给用户的包括用水输水损失在内的毛用水量。按用户特性分为农业用水、工业用水和生活用水三大类。

1. 农业用水

包括农田灌溉和林、牧、渔用水。农田灌溉是用水大户，应考虑灌溉定额的差别按水田、水浇地（旱田）和菜田分别统计；在农田灌溉用水中地下水所占比重大的地区，应对井灌区、渠灌区分别进行统计。林牧渔用水指林果灌溉（含果树、苗圃、经济林等）、草场灌溉（含人工草场和饲料基地）和鱼塘补水，其用水特点不同，应分别统计。

2. 工业用水

工业各行业的万元产值取水量差别很大，而各年统计年鉴中对工业产值的统计口径不断变化，将工业划分为火电工业和一般工业进行用水量统计。对于有用水计量设备的工矿企业，以实测水量资料作为统计依据；没有计量资料的可根据产值和实际毛用水定额估算用水量。工业用水量按新水量计，不包括企业内部的重复利用量。

3. 生活用水

按城镇生活用水和农村生活用水分别统计。城镇生活用水由居民住宅用水、公共用水（含服务业、商饮业、货运邮电业及建筑业等用水）、环境用水（含城区绿化用水、消防与河湖补水）等组成。农村生活用水除居民生活用水外，还包括牲畜用水。城镇生活用水资料主要来自于当地自来水公司的统计值。

4. 灌区用水

灌区用水为用水的一个组成部分，由于农业用水比重大，而实际的农业用水量很难统计出，为便于开展农业用水计算，应对大中小型灌区进行调查。

5. 建筑用水典型调查

随着城市建设的发展，建筑业用水量也急剧增加，为了合理预测建筑业需水状况，必须对建筑业现状用水情况进行调查，调查主要以建设中的住宅小区或商业区为对象，调查单位面积或产值的用水情况。

6. 主要城市用水

城市供用水统计的地域范围为城市建成区，不包括远郊区和市辖县。调查统计城市基准年用水管理和水价情况，并计算城市综合水价。用水户可按居民生活、工业、服务业等进行分类。综合水价以各类用户的用水量为权重，用加权平均法计算。

7. 河道内用水

（1）航运用水。在通航的河道中，航运对水位有一定的要求。当航道水位高于最低通航水位时，以船闸用水量作为航运用水；当航道水位低于最低通航水位时，用实际补水量或用水位差所对应水量及船闸用水之和作为航运用水。

（2）景观娱乐用水。景观娱乐用水区对水资源既有水质要求，又可能有水位要求，对两者都有要求时，取其中需水量较大者作为景观娱乐用水生态需水量，但不得高于基准年实际用水量。

（3）月外包用水。同一河道内各项用水可以重复利用，取外包线作为该河段的河道内各项用水综合要求。河道内用水量是在各单项生态、生产或环境用水量的基础上得到的，即取其中的最大者，其数学表达式为：

$$Q=\max(Q_i)+Q_{耗} \tag{3.4}$$

式中 Q——河道内用水量；

Q_i——单项河道内用水量；

$Q_{耗}$——由蒸发和侧渗漏造成的耗水量。

3.3.3 用水消耗分析

用水消耗量指毛用水量在输水、用水过程中，通过蒸腾蒸发、土壤吸收、产品带走、居民和牲畜饮用等多种途径消耗掉，而不能回归到地表水体或地下含水层的水量。

1. 农田灌溉耗水量

一般可通过灌区水量平衡分析方法推求灌溉耗水量，也可用实灌亩次乘以次灌水净定额近似作为耗水量。水田与水浇地、渠灌与井灌的耗水率差别较大，应分别计算耗水量。

2. 工业耗水量

一般情况可用工业取水量减去废污水排放量求得。废污水排放量可以在工业区排污口

直接测定，也可根据工厂水平衡测试资料推求。火电耗水量可按装机容量乘耗水定额计算，火电耗水定额可按照编制用水定额时的典型调查资料进行推求。

3. 生活耗水量

城镇生活耗水量的计算方法与工业基本相同，即由用水量减去污水排放量求得。农村住宅一般没有给排水设施，用水定额低，耗水率较高（可近似认为农村生活用水量基本是耗水量）；对于有给排水设施的农村，应结合本地情况，通过调查确定耗水率，估算耗水量。

4. 其他用户耗水量

各地可根据实际情况和资料条件采用不同方法估算。例如，果树、苗圃、草场的耗水量可根据实灌面积和净灌溉定额估算；城市水域和鱼塘补水可根据水面面积和水面蒸发量估算耗水量。

3.3.4 基准年供需分析

基准年供需分析的目的是摸清水资源开发利用在现状条件下存在的主要问题，分析水资源供需结构、利用效率和工程布局的合理性，提出水资源供需分析中的供水满足程度、余缺水量、缺水程度、缺水性质、缺水原因及其影响、水环境状况等指标。通过分析分区内挖潜增供、治污、节水和外调水边际成本的关系，明确缺水性质（资源性、工程性和污染性缺水）和缺水原因，确定解决缺水措施的顺序，为水资源配置方案生成提供基础信息。

基准年供需分析是在现状的基础上，扣除现状供水中不合理开发的水量部分（如地下水超采量、不符合水质要求的供水量等），以现有水利工程格局和水资源调配方式分析统计计算分区供水能力，并按不同频率的来水和需水进行供需分析。所以，基准年供需分析不等同于简单描述已发生的供需现状，其最主要的特征是现状供水中不合理的部分要扣除以及对应不同频率计算来水和需水。基准年不同频率的需水过程可以根据现状年的社会经济发展状况，采用现状相应于不同降雨频率的需水定额加以计算确定。计算分区的来水系列主要采用近期下垫面条件下的河川径流还原和一致性修正后的系列；无长系列的计算分区，其所选择的丰、平、枯典型年来水过程应具有代表性。

分析不同水源的供水量以及用水量，在此基础上，评价现状条件下相应的余缺水量，重点分析缺水量、缺水时空分布、缺水程度、缺水性质和缺水原因等，并对缺水造成的社会经济及生态环境的影响进行分析与评价。

3.3.5 水资源开发利用现状评价

1. 水资源开发利用程度分析

以相对独立的区域为地域范围，选取适当的计算时段，对地表水资源开发率、浅层地下水开采率及水资源总量利用消耗率进行分析计算。地表水资源开发率指地表水源供水量占地表水资源量的百分比，反映评价区域自产地表水的控制利用情况。浅层地下水开采率指实际开采量占地下水总补给量的百分比。水资源总量利用消耗率指用水消耗总量占水资源总量的百分比。在统计评价区内的用水消耗量时应去掉调出水量或调入水量和深层承压水开采量的影响。例如，从评价区调出水量而不能回归到本区的，应将调出水量作为本区的消耗量计；由区外调入水量和深层承压水开采量所形成的区内用水消耗量，应全部

扣除。

2. 水资源开发利用评价

（1）用水量评价。对近10年来区域用水结构、用水量、用水增长、用水定额进行分析评价，并与国内外先进水平比较，分析现状用水的变化趋势和存在的问题。

（2）水资源利用量评价。分析评价近年来地表水、地下水、客水利用情况，重点分析地下水漏斗区和其他生态环境恶化地区水资源开发利用情况，分析指出不同地区水资源开发利用情况和当地资源是否还有承载能力。

（3）水质评价。采用国家GB 3838—2002《地表水环境质量标准》，分析近年来污水排放量及变化趋势，分析评价分区重要河流、湖泊的现状水质状况。采用国家GB/T 14848—93《地下水质量标准》，分析评价分区地下水水质状况和地下水污染趋势。

（4）缺水量评价。评价区域现状条件各分区余缺水量，重点分析缺水量、缺水时空分布、缺水程度、缺水性质和缺水原因等，并对缺水造成的社会经济及生态环境的影响进行分析与评价。

第 4 章　滨江地区水资源合理配置

4.1　水资源合理配置的思路

水资源是一种宝贵的自然资源，1997 年联合国发布的《世界水资源综合评估报告》指出，水问题将严重制约 21 世纪全球的经济和社会发展。滨江地区水资源供需矛盾日益加剧，生态环境的恶化给人们一次次敲响警钟，必须抛弃一味追求经济利益的发展模式，树立可持续发展观，建立节约型的经济发展模式，以最小的资源消耗，取得最大的经济、社会和生态效益。

4.1.1　配置的基本原则

水资源合理配置是指在流域或特定的区域范围内，遵循有效性、公平性和可持续性的原则，利用各种工程与非工程措施，按照市场经济的规律和资源配置准则，通过合理抑制需求、保障有效供给、维护和改善生态环境质量等手段和措施，对多种可利用水源在区域间和各用水部门间进行的配置。水资源合理配置的应遵循有效性、公平性、系统性及可持续利用的原则。

1. 有效性原则

水资源作为国民经济生产重要的基础资源，它的投入和产出在全社会的合理分配具有其他稀缺资源分配的一般特性，因此，稀缺资源分配经济学原理适用于水资源配置，有效性和公平性是水资源合理配置首先应该遵循的基本原则。水资源合理配置的有效性应体现在促进社会、经济和环境协调发展的综合效益上。经济有效性是指作为有限资源的水资源在各用水部门中的分配使用应该满足边际收益相等的资源最佳分配原则；社会有效性强调水资源投入产生的效益应使区域各项社会事业稳定发展，并保持人均收入不断提高，促进社会安定；环境有效性则要求在水资源开发利用促进社会经济发展的同时，将生态环境受到的负面影响降低到最小程度，维持生态系统平衡与健康发展。

2. 公平性原则

水资源是一种特殊资源，无法以经济方式生产，因此在水资源配置中必须要保障区域社会进步的公平性。通过合理配置，促进水质水量和水环境容量在近期和远期之间、用水目标之间、用水人群之间的公平分配。各地区之间，要统筹全局，合理分配过境水量；用水目标之间，要优先保证最为必要的生态用水项，尤其对于生态环境极其脆弱的地区，在此基础上要兼顾经济用水和一般生态用水，同时在经济用水中要在保障供水的前提下兼顾综合利用；用水人群之间，要努力提高农村集中供水普及率，并保障城市低收入人群的日常用水权利。

3. 系统性原则

水资源合理配置是在“社会—经济—自然”的复合系统内进行的，其内部各要素的协

调性和整体性，是系统合理演变的保证。系统性原则主要强调水资源合理配置要将区域作为一个完整的有机整体，注重系统内部的协调性和外部环境的适应性。

水资源配置应以水系的水量平衡和水环境容量平衡为基础，将水资源天然循环转化与社会经济用水的供、用、耗、排过程联系起来，进行水量和水质的平衡分析。进行水资源合理配置的区域除了进行国民经济用水的供需平衡之外，还要进行产水量、入境水量和出境水量的平衡，以及地下水的补、采、径、排各项的平衡，统筹考虑干流和支流水量的利用，地表水和地下水的补偿利用，当地水和过境水、外调水的联合利用，有效降水和径流性水资源的补偿利用，一次性水和再生水的补偿利用。每个行政区，要进行水量和水质的总量控制，在总量控制的条件下确定城市和农村的供水总量和相应的供水保证率，以及城市排污与农村排污对污水排放总量和污染负荷总量的贡献。进行水资源合理配置时，全面考虑水资源、经济社会和生态环境之间的关系，按照系统论的思想，合理处理系统内部和各系统之间的关系，保持复合系统的协调发展。

4. 可持续利用原则

可持续发展（Sustainable Development）是20世纪80年代提出的一个新概念。1987年世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》报告中，第一次阐述了“可持续发展”的概念。可持续发展是指既要满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展，其实质就是以资源可持续利用和生态环境保护为条件，把经济发展与节约资源、保护环境、控制人口紧密联系起来，实现良性循环，谋求当代与后代人的共同繁荣。

可持续发展战略现在已成为国际社会的共识。可持续发展是一种从环境和自然资源的角度提出的关于人类发展的战略和模式，它主张人类经济和社会的发展不能超越资源与环境的承载能力，是一种长期稳定的发展，由此达到人类与自然之间和谐相处，现代和未来人类利益的统一。可持续发展的重要标志是资源的永续利用和良好的生态环境。

滨江地区水量充沛，但是严重的水污染造成水质型缺水，形成了水短缺的紧张局势，水资源利用中存在经济增长与环境保护的矛盾。从滨江地区当前和未来经济社会的发展看，水资源形势不容乐观，已经成为实现21世纪发展战略目标的重要制约因素，必须将水资源的开发利用提高到人口、经济、资源和环境4个方面协调发展的高度来认识。

滨江地区水资源的开发利用应坚持“开源与节流并重，节流优先，治污为本，科学开源，综合利用”的方针。滨江地区水资源配置的发展方向是可持续发展的合理配置，配置要兼顾水资源开发利用的当前与长远利益，兼顾不同地区与部门间的利益，兼顾水资源开发利用的社会、经济和环境利益，以及效益在不同受益者之间的公平分配。

4.1.2 配置的目标和手段

水资源的稀缺性、不可替代性和时空分布的不均衡性以及供求矛盾，决定了必须在水资源自然格局的基础上进行合理的人工配置。由于对水资源的不合理开发利用和严重浪费造成的水质型缺水问题已经严重制约了滨江地区经济社会的可持续发展。水资源合理配置是解决水资源供需矛盾的有效途径之一。水资源合理配置是针对水资源短缺和用水的竞争性提出来的，其目标是实现水资源的可持续利用，保证社会经济、资源、生态环境的协调发展。

水资源合理配置应根据滨江地区的经济发展水平和条件，工程与非工程措施并举，对有限的、不同形式的水资源进行科学合理的分配。在水资源开发利用过程中，对洪涝灾害、干旱缺水、水环境恶化、水土流失等问题统筹规划、综合治理，实现除害兴利结合、防洪抗旱并举、开源节流并重。

从内容上，滨江地区水资源合理配置包括取水方面的合理配置、用水方面的合理配置以及取水用水综合系统的合理配置。各种水源和各类用水户构成了庞大复杂的取用水系统，加上时间、空间的变化，水资源合理配置涉及的内容非常广泛，主要涵盖两个方面：在需水方面，提高水的利用效率，促使各部门或各行业内部高效用水，通过调整产业结构和生产力布局，建设节水型社会，抑制需水增长势头，以适应较为不利的水资源条件；在供水方面，提高水的分配效率，特别是循环利用率和重复利用率，合理解决各部门和各行业之间的竞争用水问题，加强管理，通过工程措施改变滨江地区水资源天然时空分布与生产力布局不相适应的被动局面，这两个方面相辅相成。

4.1.3 配置的重点

滨江地区水资源开发利用要把水的自然循环和社会循环作为一个整体，水质与水量并重，高度重视节水减污、工业污染源的达标排放和达标污水的处置，变污染物末端治理为源头控制，缓解水量与水体自净能力在时空上存在的不均匀性与人们对水体需求之间的冲突，使水资源系统处于最优状态。

1. 水的自然循环和社会循环

水资源大系统由水的自然循环和社会循环组成。水资源的自然循环和社会循环是密不可分的两个子系统。滨江地区水资源合理配置要把这两个子系统作为一个整体，统筹兼顾地进行调节，解决滨江地区水资源分配与自净能力的协调问题，使水资源系统处于最优状态。

水的自然循环是自然过程，为人类提供了可利用的淡水资源和对污染物的稀释自净能力，可以通过兴建水利工程设施如建闸坝、调水工程，在一定程度上改变这一过程，增加水资源可利用量与水体自净能力，更好地满足水的社会循环的需要。

水的社会循环是人类利用水资源的过程。为满足生活和工、农业生产的需要，从水体取水，经过使用变成污水，直接或经处理后排入水体；农业灌溉用水则通过地表径流或地下渗透进入水体，完成水的社会循环。水资源社会循环是可以人为控制的，通过技术改造与加强管理等手段，可以节约用水、减少污水产生量、增加污水回用量，最大限度地控制水资源系统的外部作用。

2. 水质与水量并重

水资源承载能力是指区域自身的水资源能够持续支撑的经济社会发展规模并维系良好生态系统的能力，包含水质和水量两方面的要求。水资源系统具备一定的承受外部作用（如取水和排污等）的能力，但当外部作用超出了水量或水质承载能力时，水资源系统的结构就会改变，原来的生态平衡会被打破。水资源合理配置的目的在于，调节和合理利用水资源承载能力，在维持持续发展的前提下，使水资源系统处于最优状态。

水质与水量是区域“水”系统的两个方面。水质与水量是不能截然分开的，它们之间既相互关联又相互影响、相互制约。水量的任何利用方式都要以一定的“质”作保

证，水质也要以一定的“量”作保证，没有水量，就没有水体的自净能力，水质就无法保持。

水体自净能力也可以作为一种资源，人们一直在利用这一资源，不过因为它不能像淡水资源那样直接利用，所以没有引起足够重视。随着水污染问题日趋严重，人们意识到水体自净能力与淡水资源一样，不是取之不尽，用之不竭的，为了保护水环境质量，必须控制水体自净能力的使用。20 世纪 80 年代以来，滨江地区水环境污染问题日趋严重，水资源规划开始兼顾水质目标，很多学者将经济社会发展与水资源开发、分配、利用以及水环境污染控制结合起来，建立多目标规划体系，对滨江地区水资源大系统进行综合规划和管理。

水资源合理配置要缓解滨江地区水量与水体自净能力在时空上存在的不均匀性与人们对水资源需求之间的冲突。进行滨江地区污水排放量与水体自净能力分析，控制排入天然水体的污水排放量与排污口位置，制定污水季节排放标准以适应水体自净能力的季节变化，加强污水处理力度，保持水质并保证对水量的要求。同时，通过调节水量的时空分布，使得水体自净能力的时空分布与对水体的不同功能需求相一致。

我国的水资源合理配置在资源型缺水地区受到高度重视，取得的成果也多集中在干旱缺水的北方地区和西北地区。水资源充足的地区，研究成果相对较少。在过去 20 多年间，滨江地区对水资源进行了高度开发和利用，但在开发利用时对水资源保护重视不够，致使河湖水污染状况日趋严重，造成了“有水不能用”的局面。有关分析资料表明，在我国未来发展中水质导致的水资源危机大于水量危机，应该引起高度重视。

滨江地区属于平原河网地区，灌、排、提、引、蓄都是通过河网水位流量调节来实现，河道上下游、左右岸补给和排水关系复杂，水质水量问题紧密结合，从理论和技术上实现“水资源配置的公平性和水资源配置与经济、环境、人口的协调”是滨江地区水资源配置研究必须解决的问题。

4.2 需水预测

滨江地区水资源合理配置的过程就是根据经济社会发展预测成果，按照水资源合理配置的原则，考虑节约用水水平提高的不同程度以及水资源保护与水污染防治的分阶段目标，以水资源开发利用潜力为控制条件，生成各规划水平年经济、技术和资源条件可能的水资源配置方案集，进行供需平衡多方案分析计算，通过经济、技术论证与比选，得到水资源合理配置方案，并对总体规划布局、水资源工程和非工程措施的选择及实施提出具体要求。

4.2.1 经济社会发展指标分析

1. 国民经济发展指标

以滨江地区社会经济发展指标为依据，分析滨江地区不同水平年的需水要求。需水预测着重分析评价各项用水定额的变化特点，用水结构和用水量变化趋势的合理性，既考虑科技进步对未来用水的影响，又考虑水资源紧缺对社会经济发展的制约作用。近期和中期经济社会发展指标，以滨江地区总体规划、国民经济和社会发展规划纲要和有关行业发展规划为基本依据进行预测。远期经济社会发展指标以近 10 年的经济增长速度、经济总量

指标为基础，采用趋势法进行预测，用数学模型对已知数据进行拟合，采用前推法预测远期滨江地区的经济发展情况。需水预测按照用水户的不同分生活、生产和生态环境三大类。

预测的数学模型采用式（4.1）：

$$y=ax^3+bx^2+cx+d \tag{4.1}$$

式中　系数 a、b、c、d 用最小二乘法优选。

2. 人口与城市化

人口增长分为人口自然增长和人口机械增长。人口自然增长是由于人类繁衍的需要，城市人口数量在原有基础上有一定的变动；人口机械增长是城市人口因迁入和迁出等社会因素引起的人口增减。近年来，由于滨江地区经济发展迅速，对外来人口的吸引力和吸纳能力不断提升，人口的机械增长成为滨江地区人口增长的主要原因。

4.2.2　生活需水预测

生活需水分城镇居民和农村居民生活需水两类，根据滨江地区的经济社会发展水平、人均收入水平、水价水平、节水器具推广与普及情况，结合生活用水习惯，参照建设部门已制定的城市用水标准和国内外同类地区的城市生活用水定额，分别拟定各规划水平年居民生活用水定额，结合人口预测成果，采用人均日用水量法进行预测，计算公式如下：

$$Q = Nq \tag{4.2}$$

式中　Q——居民生活需水量；

N——规划水平年的人口数；

q——规划期内的生活用水量定额标准。

城镇居民生活需水预测着重分析人口的增长、生活水平的提高和城镇化的发展对用水增长的影响，用水标准不断提高；同时还考虑水价变化和节水措施的推广等对用水量减少的影响。农村生活用水即农村居民生活用水，通过实地调查滨江地区农村居民生活用水情况并考虑到人民生活水平的不断提高，同时综合各种规范，并参考其他地区农村生活用水标准，确定近、中、远期水平年农村居民生活用水定额，预测农村居民生活用水量。

4.2.3　生产需水预测

生产需水是指有经济产出的各类生产活动所需的水量，包括第一产业、第二产业及第三产业需水。

1. 农业需水预测

农业需水包括农田灌溉和林、牧、渔、业需水。农业需水量主要取决于来水情况、灌溉工程的节水水平和种植结构，与经济发展速度的关系不密切。由于滨江地区种植结构的调整有很大的不确定性，所以各规划水平年种植比可以保持现状水平，主要考虑灌溉方式的改进、灌溉工程建设对需水量的影响。农田灌溉需水量用考虑节水灌溉的综合毛灌溉定额计算。滨江地区林、牧、渔业需水包括林果地灌溉、牲畜用水和鱼塘补水三类，采用定额法推算。

2. 工业需水预测

影响滨江地区工业用水的因素很多，包括国民经济发展计划、工业结构，用水水平和节水程度，企业生产工艺、生产设备，用水管理水平，水资源状况等。任何一种工业需水

量预测方法都不可能将所有因素全部考虑到，各有其局限性，因此要作几种方法的计算比较。考虑到用水特点的不同，滨江地区工业需水预测分高用水工业、一般工业和火电工业分别进行。

（1）高用水工业。高用水工业需水预测可参照国家经贸委编制的工业节水方案的有关成果。

（2）一般工业需水。不同规划水平年的工业需水预测分别采用相关法、弹性系数法和重复利用率提高法，然后对不同方法的预测结果进行综合分析，选择最合理、科学的预测结果。

1）相关法。选取工业增加值作为工业用水量的主要影响因素，分析滨江地区历年万元工业增加值用水量与工业增加值之间的关系，通过不同的数学回归模型的试算，选用指数回归法进行预测，其回归方程为：

$$\log y = a\log x + b \tag{4.3}$$

式中 y——万元工业增加值需水量；

x——工业增加值；

a、b——回归系数。

2）弹性系数法。弹性系数法就是利用工业用水弹性系数在一段时间内基本不变这一规律来进行未来需水量的预测。在工业结构基本不变的情况下，使用该方法可得到比较符合实际的数值，适用于中长期工业需水预测。工业用水弹性系数是指工业用水的增长率与同期工业增加值增长率之比，即：

$$k = a/b \tag{4.4}$$

式中 k——弹性系数；

a——工业用水年增长率；

b——工业增加值年增长率。

根据滨江地区历年工业增加值和工业用水量的资料，分析工业用水、工业增加值增长变化的趋势，确定未来不同时间段的工业需水弹性系数的取值。

3）重复利用率提高法。万元增加值用水量和工业用水重复利用率是衡量工业用水水平的两个综合指标。一般情况下，一个地区的工业结构不发生根本变化时，万元增加值用水量主要取决于重复利用率。随着重复利用率的不断提高，万元增加值用水量将不断下降，两者的关系式为：

$$q_i = \frac{1-n_i}{1-n_0} q_0 \tag{4.5}$$

式中 q_i——预测年份 i 的万元工业增加值用水量，m^3/万元；

q_0——预测起始年份的万元工业增加值用水量，m^3/万元；

n_i——预测年份 i 的重复利用率；

n_0——预测起始年份的重复利用率。

分析各种方法的使用条件和计算结果，选择最符合研究区实际情况的计算成果。

（3）火电工业。火电工业分循环式和直流式两种用水类型，分别统计，采用发电量单位（亿 kW·h）用水量法进行需水预测，并以单位装机容量（万 kW）用水量法进行

复核。

根据国家电源结构调整的要求，火电建设的重点是采用高参数、大容量、高效率和节水型，以60万kW为主的设备。小火电能源消耗大、环境污染严重，将被逐步淘汰。未来火电发展方向主要是沿江的大型火电企业，内河取水火电企业基本维持在现状水平。

3. 建筑业和第三产业需水预测

建筑业需水预测以单位建筑面积用水量法为主，以建筑业万元增加值用水量法进行复核。第三产业需水可采用万元增加值用水量法进行预测。根据这些产业发展规划成果，结合用水现状分析，预测各规划水平年的净需水定额和水利用系数，进行净需水量和毛需水量的预测。

汇总各项生产需水量，得到滨江地区各水平年总的生产需水量计算结果。

4.2.4 生态环境需水预测

滨江地区生态环境需水量可以分为河道内和河道外两部分。近年来，滨江地区河网系统中的水环境问题十分突出，生态系统平衡的失调更多是由于水质恶化引起的，良性的河网水生态环境系统需要一定有质量保证的水量来支撑，以维持系统的生态平衡。滨江地区生态环境需水量的计算方法很复杂，且在不同的生态建设目标下相差很大，将在第5章中详细介绍。

4.2.5 需水总量及趋势分析

由上述各项需水预测的结果，可计算得出不同保证率下各水平年区域的需水总量。

统筹考虑社会经济发展和节水型社会建设，滨江地区未来用水量仍将呈现增长的趋势，其直接原因是人口的增加和经济的发展。随着人口的增加和人们生活质量的提高，滨江地区的生活用水量自然会增加，生活用水中公共用水并不与人口成比例增加，生活用水量真正绝对增加的是居民的生活用水。从滨江地区近年来农业用水量的变化趋势来看，通过推广高效农业、调整农业产业结构和采用适当的节水措施，农业用水会略有下降，同期工业用水不断增加，农业用水下降的份额主要被工业用水占去。工业用水只要采用严格的排污限制和环保政策，工业用水重复利用率会大幅提高，用水量增幅会下降，甚至可能出现增幅为零的情况。火电等冷却用水虽然还会增加，但损耗小，除了水温提高外，其他污染很小。如果大力发展用水较少的高新技术产业和第三产业，则未来滨江地区虽然GDP增加较快，万元GDP用水量反而可能会减少。

4.3 供水预测

供水预测以滨江地区现状水资源开发利用状况为基础，以当地水资源开发利用潜力分析为控制条件，通过技术经济综合比较，进行可供水量预测。可供水量包括地表水可供水量、地下水可供水量和其他水源可供水量。地表水可供水量包含通过蓄、引、提工程利用的地表水量，其他水源可供水量包括深层承压水可供水量和中水回用等。

4.3.1 地表水供水

滨江地区地表水可供水量主要由3部分组成：当地地表产流可利用量、过境引水量、过境提水量。

1. 地表产流可利用量

滨江地区地表产流可利用量预测中，考虑到不同水平年的下垫面条件的变化，参考滨江地区城市总体规划和土地利用规划对未来土地利用情况的预测成果，确定各规划水平年的不同下垫面的面积。根据各规划水平年不同下垫面面积进行产汇流计算，得出地表产流可利用量。

2. 过境引水量

滨江地区水量丰沛，引水量主要取决于沿江（河）闸站的引水能力和调度方式、内部河道的引水能力及工农业生产和生态的内河需水量。目前我国流域还没有实行严格的取水控制，未来的过境引水量无法直接得出，只能在供需平衡分析中由需水量反推。

3. 过境提水量

随着工业的发展和人们生活水平的提高，滨江地区工业、生活用水量不断加大，自来水厂的规模以及江河提水量随之增加。一般而言，过境江河水量年际间的变幅基本不影响沿江地区水资源的需求，虽然诸如三峡工程、南水北调工程正在实施建设，但建成运行后对滨江地区的供水水源影响不大，提水量主要取决于供水工程的规模。各规划水平年，为满足需水要求，滨江地区沿江城市现有自来水厂及部分企业自备水源的过境提水量将大幅增加。

4.3.2 地下水供水

合理开发利用地下水资源，坚持“开源和节流并举、节约优先、治污为本，高效利用”的方针，把地表水与地下水统一规划、联合调蓄、综合利用；调整地下水开采量，保持采补平衡，控制最优地下水位；控制污染，按地下水资源赋存和分布规律，进行地下水资源的开发与保护。在补给量和水质有保证的条件下，地下水可以作为滨江地区用水的后备或辅助水源。计算不同来水频率地下水的补给量和排泄量，进行典型年内的地下水调节计算，推算多年平均地下水的可开采量，作为地下水开发利用的依据。

4.3.3 其他水源

其他水源主要是中水回用。随着滨江地区经济、社会的快速发展，城市污水处理厂大量建设，城市污水处理率不断提高，为城市污水回用创造了有利的条件。科学合理地回用污水，将中水作为可利用水资源的一部分，一方面可以减少废物排放量、降低废污水排放对环境的污染；同时可以节约大量的新鲜水，通过分质供水提高资源的使用效率。中水回用对滨江地区的水资源保护、水污染防治和经济可持续发展具有重要作用。

4.4 水资源“量”的供需平衡分析

4.4.1 配置思路

水资源配置需要经过多次供需反馈并协调平衡，一般进行 2～3 次供需分析。

1. 一次供需平衡分析

水资源一次供需平衡分析，是以“零方案”，即现状工程的供水能力、各规划水平年的来水条件和考虑新增节水措施的正常增长的需水要求，进行调节计算，得出各水平年不同保证率的可供水量，组成不同水平年的一组供水方案。滨江地区需水主要分三类：外河直接取水的自来水需水、外河直接取水的工业企业需水和内河需水，因此水资源供需平衡

分析也分成这3种类型分别进行。

2. 供需分析方案调整

供水预测与需水预测、节约用水、水资源保护等相关工作共同组成以水资源配置为中心的动态的水资源分析系统，各部分之间相互衔接协调。以滨江地区现有的工程规划总体布局为基础，进行水资源供需分析方案的调整，具体措施包括：增加企业自备水源的江河提水能力；新建、扩建自来水厂，自来水管网改造；提高引水能力；产业结构调整；节水减污和治污；挖潜等，进行二次平衡分析计算。

3. 二次供需平衡分析

在一次供需平衡分析的基础上，根据计算反馈的缺水程度、缺水类型，综合考虑合理抑制需求、增加有效供水、保护生态环境的不同要求，调整供水方案，增加供水能力，进行二次水资源供需分析。若二次供需分析仍有较大缺口，则进一步加大调整经济布局和产业结构及节水的力度，进行新一轮供需分析，经过反复的平衡分析，最终选定水资源合理配置的推荐方案。

4.4.2 配置要点

滨江地区各规划水平年自来水需水量一般均大于现状自来水可供水量，可以通过新建或扩建公共自来水厂解决供需缺口。第二产业外河取水企业的供需平衡中，滨江地区火电企业发展速度很快，外河取水量很大，这部分的缺水量通过新建或扩建企业提水工程可以解决。

滨江地区的内河水资源一次供需平衡分析主要针对滨江地区内河取水，平衡计算中的可供水量包括当地径流可利用水量、外河过境引水量，也可以考虑地下水可供水量和中水回用可供水量，相应的需水量包括农业内河提水量、工业内河提水量和生态环境需水量。

内河取水的水资源平衡分析以沿江闸站的引水能力为限制条件参与平衡计算，推求可供水量中的沿江引水量。通过滨江地区现有引江闸站的科学、合理调度，充分发挥水利工程的效益，可以实现内河的水资源供需平衡。

各规划水平年，滨江地区每年的中水回用量将大幅增加，这部分水量主要用于城镇绿化用水、道路浇洒用水和水质要求不高的工业用水。

依照水利部的工作安排，实行严格的取水许可总量控制指标细化是必然趋势，届时将核定沿江（河）各省、市、县需耗水量、水资源可利用量及取水总量控制指标，逐级分配江河水资源，各级用水户只能在额定水量的范围内取用水资源，所以未来解决滨江地区水资源不足的问题的首要措施是开源节流，减污治污。

综合以上水资源供需分析方案的调整，滨江地区不同规划水平年均可以达到水资源量的供需平衡，即可使供水量等于需水量。

4.5 水资源“质”的保护协调

滨江地区独特的水资源条件决定了水资源合理配置有着不同于国内其他地方的侧重点和方法。滨江地区水资源的突出问题是水质污染。因此，从节约、保护水资源的角度，用水质目标对水量配置方案进行最终评定，以水功能区达标的水体纳污能力为控制对水资源配置方案的合理性进行分析，确定滨江地区用水潜力，沿江地区同时考虑内河河网和外江

（河）水资源保护的要求。根据用水和排水的关系以及污染物产生的规律，进行污染负荷预测，预测不同水平年的污水量和主要污染物入河量，进行总量控制和平衡分析。如果配置方案不符合水质要求，则强化节水、污水回用、产业结构调整，进行下一轮平衡分析，直到满足要求。

4.5.1 水域纳污能力的一次平衡分析

随着滨江地区经济社会的发展，各行业用水量大幅度增加，相应的污水排放量也急剧增加。根据水功能区划的要求，范围内的水体纳污能力是有限的，必须在水环境容量这一水质制约因素的允许范围内统一协调地进行水资源配置，研究水体纳污能力、污水与用水之间的关系以及节水、污水回用等重要课题。滨江地区水资源必须满足两方面的要求，一方面是水量要求，水量能够满足工农业生产、生活和生态用水的需求；另一方面是水质要求，滨江地区水体纳污能力能够满足水环境要求。

上述水资源配置仅仅是“量”的配置，采用的是传统的水资源配置思路，即根据滨江地区的历史和现状供、用水情况，预测未来的用水需求，然后规划修建蓄水、引水、提水和灌渠等工程，不断提高供水能力，满足滨江地区未来的需水要求。

滨江地区作为丰水地区，依托大江大河，未来各规划水平年水资源量的需求是可以得到满足的，水资源配置应该将重点放在水资源保护、解决水质型缺水问题上。水资源配置的思路，应该从单纯提高供水能力向需求管理过渡，加强水资源保护和节水，提高用水效率，所以应从水域纳污能力的角度对水资源配置的结果进行进一步分析。按上述水资源平衡配置中各规划水平年的用水情况，进行滨江地区主要污染物入河量和水域纳污能力的平衡分析，计算超标因子纳污能力以及水量的缺口。目前影响滨江地区水环境最敏感、突出的因子一般是氨氮。下面以氨氮为例，说明具体分析过程。

4.5.2 水域的氨氮污染

随着经济发展和城市化的进程，滨江地区对水的需求量不断增大，随之而来的是污水的排放量日益增多，水体中氨氮污染已引起了广泛关注。氨氮的大量排放不仅造成了水环境污染和水体富营养化及水体发生赤潮等现象，而且在工业污水处理和回用工程中造成用水设备中微生物繁殖，形成生物垢，堵塞管道和用水设备，影响了热交换。

氨氮污水来源很多，钢铁、炼油、化肥、无机化工、铁合金、玻璃制造、肉类加工和饲料生产等工业以及垃圾渗滤液、生活污水等，均排放高浓度的氨氮污水。其中，某些工业自身会产生氨氮污染物，如钢铁工业及肉类加工业等；而另一些工业将氨用作化学原料，如用氨等配成消光液以制造磨砂玻璃等；皮革、孵化、动物排泄物等新鲜污水中氨氮初始含量并不高，但由于污水中有机氮的脱氨基反应，在污水积存过程中氨氮浓度会迅速增加。不同种类的工业污水中氨氮浓度千变万化，即使同类工业不同工厂的废水中其浓度也各不相同。

我国对氨氮排放高度重视。2002 年颁布实施的 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》与已废止的原标准 GHZB 1—1999 相比，在地表水环境质量标准基本项目中增加了总氮一项指标，修订了氨氮的标准值。

GB 3838—2002 依据地表水水域环境功能和保护目标，把地表水按功能高低依次划分为五类，其中Ⅲ类水主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区，Ⅴ类水主要适

用于农业用水区及一般景观要求水域，Ⅳ类水主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区。Ⅲ类、Ⅳ类及Ⅴ类水的氨氮标准限值分别不大于 1.0mg/L、1.5mg/L 及 2.0mg/L。

目前我国城市污水处理厂的出水水质执行的是 GB 18919—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》和 GB 8978—1996《污水综合排放标准》，氨氮排放标准见表 4.1 和表 4.2。

表 4.1　　城镇污水处理厂污染物排放标准　　单位：mg/L

项　目		一级标准		二级标准	三级标准
		A 标准	B 标准		
总　氮		15	20	—	—
氨氮	2006 年 1 月 1 日前建设	5（8）	8（15）	25（30）	
	2006 年 1 月 1 日后建设	1	1.5	3	5

注　括号外数值为水温大于 12℃时的控制指标，括号内为水温不大于 12℃时的控制指标。

表 4.2　　污水综合排放标准　　单位：mg/L

项　目	适　应　范　围	一级标准	二级标准	三级标准
氨氮	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	
	其他排污单位	15	25	
	黄磷工业	10	20	20

滨江地区已投入运行的城市污水处理厂大多是执行二级排放标准或一级 B 标准，即使达标污水的氨氮值也远高于Ⅴ类水的氨氮标准限值，针对这一问题，可以进一步提高污水处理厂和企业的氨氮排放标准；有条件的新建、扩建氨氮处理设备；同时，严格控制新建、扩建氨氮污染高、排放量大的企业。

4.5.3　氨氮超标的对策

通过引水来解决水环境问题，是治标不治本的方法，水环境问题必须从源头治理应全面加强水资源保护，采用多种措施综合治理，有效控制污染源，严格按照滨江地区水功能区目标进行管理。

根据区域水资源条件，首先应分析未来用水需求的特点，确定氨氮的具体来源和所占比例。针对滨江地区的实际情况，一方面采取强化节水措施，降低用水量进而降低污水排放量，另一方面加大减污力度，调整产业结构，对各种用水和排水采取更加严格的环保措施，实现高标准的达标排放和排放总量控制。据此，对上一轮水资源平衡配置的结果进行调整。

1. 严格控制高氨氮污染企业

合理调整工业布局和产业结构，禁止引进高氨氮污染的工业项目，发展用水效率高的高新技术产业。现有的氨氮重污染企业，加快技术改造，积极推行清洁生产工艺，对落后的氨氮排放过高的项目、产品设备实行强制淘汰。

2. 一般工业强化节水

总体来说，滨江地区目前的节水工作处于全国中等水平，只要充分发挥滨江地区的人

力、物力和财力优势，就能够大力推进城乡节水工作的开展。预期各规划水平年，滨江地区一般工业用水水平达到国内先进水平，一般工业用水重复利用率将不断提高，万元工业增加值用水量将不断下降。

3. 城镇生活强化节水

滨江地区城镇综合生活用水的节水水平、节水技术与节水先进的国家相比，手段较为单一，技术有所欠缺，节水措施落实的程度参差不齐。滨江地区城镇生活节水要与城市化进程和人民生活水平提高相适应，采取多种措施，实现水资源的高效利用。滨江地区城镇生活节水的潜力很大，且覆盖范围广泛。

通过综合采取各种节水措施，如加大供水管网改造力度，降低漏失率；推广节水器具；强化公共用水管理；加强公众宣传与水价改革；减少未计量用水等，可以有效降低城镇生活用水量。

4. 加大氨氮污水处理力度

高浓度氨氮污水成分复杂，除酚类外，还有单环及多环的芳香族化合物，并含有许多难以被微生物降解或有生物毒性的化合物。高浓度氨氮污水对环境危害大，并难于处理，生物化学法比较经济，但对中高浓度的氨氮污水不适合；物理化学法可以处理高浓度的氨氮污水，但往往是多种方法串联组合，且运行费用昂贵，有些还会产生二次污染，因此高浓度氨氮污水处理技术一直是国内外水处理研究的焦点。

工业污水氨氮浓度高，可以将高浓度氨氮污水集中物化处理后再和其他污水混合，然后采用常规生化处理的组合工艺，这样可适当降低工程投资和建成后的运行费用。生产单位应首先对生产工艺进行改革，能不使用含氮原料的尽量不用，如必须使用应尽量减少跑冒滴漏，从源头减少氨氮的排放量；对污水脱氮处理工艺的选择应根据企业的实际情况，综合考虑，设计的工艺流程应首先进行试验，证实有效后再开始设计和施工。

不同的氨氮污水的处理技术各有其优势与不足，由于不同污水性质上存在差异，目前还没有一种通用的方法能处理所有氨氮污水。为了取得很好的氨氮处理效果，必须针对不同行业和污水性质而采取不同的处理办法。目前，焦化、味精、化肥等行业多采取 A/O 法；养殖行业一般采取 SBR 法，即序批式生物反应法。根据国内外研究成果和实践，生物脱氨氮技术是高浓度氨氮污水的处理方向，而物理化学法与生物法结合的生物膜法（MBR）将成为各行业处理高浓度氨氮污水切实可行的新工艺，这种联合处理技术可以保证氨氮污水处理的有效性和经济性。

5. 进一步加大污水处理厂中水回用力度

采取多种措施鼓励开展中水回用，通过管网把中水广泛回用于景观用水、城市绿化、农田灌溉、道路清洁、洗车、厕所冲洗及施工用水、企业设备冷却用水等领域，各规划水平年，滨江地区污水处理厂中水回用率可以达到 30%，具体包括：滨江地区新建住宅小区和集中公共建筑区在编制各项市政规划时，应同时编制中水回用规划；城市道路的市政管线预留中水回用管道的位置，各项用水中凡能够使用中水的必须使用中水；拉大中水与自来水之间的价格差距，扩大中水使用比例，推动中水回用市场的形成；新建城市污水处理厂的布局，既满足滨江地区水污染控制的要求，也要适应中水回用的需求。

4.5.4 水域纳污能力的二次平衡分析

采取上述措施后，以氨氮为滨江地区河流的污染控制因子，重新计算各规划水平年的氨氮入河量，并和水域氨氮纳污能力作对比，如果氨氮纳污能力仍然有缺口，还是需要引入新水量加以解决。从环境学角度来说，用干净的水稀释已经污染的水体或污染物，这种方法并不可取，但是由于滨江地区经济的高速发展，水体氨氮超标，污染严重，关系到居民的健康和滨江地区的整体形象，在产业结构不作大的调整的情况下，若希望达到规定的水功能区水质标准，必须在控制污染源的同时对这部分净化需水量加以考虑。

4.6 水资源配置推荐方案

为满足迅速增长的人口和不断提高的生活水平的要求，滨江地区单纯追求经济的高速增长引发了许多矛盾。滨江地区水资源量是充沛的，但由于水污染，本地许多水资源失去了使用功能，大量原本可利用的水体无法利用。目前，滨江地区污染物排放量仍远远超出了水体纳污能力，水污染形势依然严峻，今后一段时期内，水质型缺水将是影响滨江地区经济社会可持续发展的主要水问题。

科学治水，规划先行，要解决水质型缺水问题，必须在综合考虑滨江地区经济社会发展对水资源和水环境承载能力要求，以及当地水资源状况和地理条件的基础上，通过水资源统一管理、统一规划和统一调度，充分利用现有水利工程体系和水资源有利条件，进行水资源的合理配置。

水资源合理配置涉及的内容很广，贯穿水资源规划与管理的主要环节。由于滨江地区河网密布，有丰沛的过境水资源，解决水资源不足的主要途径，一是合理、高效地利用本地水资源；二是通过调水补充本地水资源不足。水资源的节约与保护是实现滨江地区经济社会可持续发展的紧迫要求，开展节水防污型社会建设是解决水质型缺水、改善水环境的有效途径。

滨江地区应将水资源节约保护和水生态修复作为水利工作的重要内容，着力建设“流域统筹、区域联动、水务一体”的水资源综合管理体制；加强取排水许可，强化以排污总量控制为核心的防污机制建设，进一步优化产业结构和布局，大力发展循环经济、清洁生产，从源头上减少污染排放量；完善促进水体循环的总体布局，科学调度水资源；完善水资源保护监测评估体系，加强水生态修复的科学技术研究；加快建立节水与水生态环境保护的投资保障体系和补偿机制。

第5章　滨江地区生态环境需水计算方法

5.1　生态环境需水概述

滨江地区水资源的不合理开发导致了水生态系统的破坏，随着人口增长和社会经济发展，人类活动对生态环境的影响越来越大，由此引发的生态环境问题日益突出。就制约滨江地区发展的水质型缺水问题而言，与水资源配置过程中仅重视生产和生活用水，忽视生态环境保护与建设对水资源的需求，对生态环境需水考虑不够有关。因此，合理量化生态环境需水是水资源合理配置和生态环境保护与建设中的重点问题。国内外对生态环境需水进行了大量研究，研究成果主要集中在河流系统。从国内来看，生态环境需水量的研究主要集中在相对缺水的华北及西北干旱半干旱地区。

5.1.1　生态环境需水的概念、内涵

生态环境需水涉及到生态学、环境科学、水文学、气象学等多个学科，其概念至今尚未有明确统一的定义，许多基本理论和研究方法仍有待进一步研究。《中国可持续发展水资源战略研究报告》中提出了生态环境用水的基本概念，广义上是指维持全球生物地理生态系统水分平衡所需要的水，包括水热平衡、生物平衡、水沙平衡、水盐平衡等；狭义上是指维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量。

许多文献中有“生态环境需水”、“生态环境用水”和“生态环境耗水”等不同提法。这3个概念相互关联，但是有着不同的内涵。生态环境需水是从生态系统本身的角度出发，维持或恢复良好稳定状态所需水量，它是生态环境系统本身固有的水量，在生态环境系统标准确定情况下，属于客观量。生态环境用水是在水资源开发利用过程中，实际供给生态环境系统的水量，随水资源配置方式和技术水平不同而有所不同，属于动态变化量。生态环境耗水则是在现状情况下，生态环境系统所实际消耗的水资源量。在目前情况下，生态环境需水大于生态环境用水，生态环境用水大于生态环境耗水。考虑到生态环境建设的需要，首先应该计算出滨江地区生态环境需水，然后结合区域经济进行生态环境用水的合理配置，并采取有效措施提高其利用率。

5.1.2　生态环境需水的特征

水系统的演变过程在时间上表现为高度动态性，伴随有周期性和随机性；在空间上表现为地理分异性，如地带性与区域性。生态环境需水除具有水资源的基本特征外，还具有以下特征：

（1）不可替代性。生态环境需水是区域生态系统得以生存和发展的最基本因素之一，是任何其他因素所不能替代的。

（2）动态性。生态环境需水是一个动态的概念，它随着年份、季节、生态系统类型等不同而发生变化，与工农业用水之间的矛盾也随着年份、季节、生态系统类型等发生

变化。

（3）阈值性。任何一个生态系统的生态环境需水量都是由最小需水量（下限）和最大需水量（上限）两个阈值限定的一系列区间值，在阈值范围内河流生态环境用水量的大小基本上决定了生态系统的状态。生态系统本身具有一定的自我调节和自我缓冲性，当生态环境需水量超越了其上限或下限的临界状态，水生态系统就会发生质的变化以至于崩溃。如果可供利用的水资源过少，低于下限，将不能满足生物群体基本生长或存活的需求，生态系统将退化甚至消亡；如果可供利用的水资源过多，高于上限，也会危及生态系统的健康。

（4）时空性。时间和空间是生态系统变化的两个基本测度。生态环境需水不仅要保证在一定时间内总量的需求，还要保证在区域空间和立体空间上合理分布。

（5）目标性。生态环境需水量是根据生态保护准则或目标来确定的。不同地区有不同的生态环境特征，其生态系统的功能和结构不同，生态环境建设目标也不同。同一生态系统，生态建设目标不同，其生态环境需水量也不相同。

5.1.3 生态环境需水研究进展

生态环境需水量计算方法的最早研究可以追溯到20世纪40年代，当时仅仅是为了研究河道内流量特征，直到1971年才利用“河道内流量法”计算了河流的基本流量。国外生态环境需水早期研究主要集中在河流生态环境需水方面，主要是针对河道枯水流量和鱼类及无脊椎动物等所需水量的研究。

20世纪80年代初，美国形成了生态和环境需水分配研究的雏形，在河道内流量求解方面已形成了较为完善的计算方法，如河道内流量增加法（IFIM法）、适配曲线法、蒙大拿法（Montana Method）等，但是没有明确提出生态环境需水量计算方法。直至20世纪90年代，随着国际水文计划等大项目的实施，研究对象由过去仅关心物种及河道物理形态的研究，扩展到维持河道流量的研究，包括最小流量和最适宜流量，而且还考虑了河流生态系统的整体性，其研究方向也不再局限于河流生态系统，已扩展到了河流外生态系统。

我国对生态环境需水的研究大致可分为3个阶段：

（1）20世纪70年代末，开始研究探讨河流最小流量问题，主要集中在河流最小流量确定方法的研究。

（2）20世纪80年代，针对水污染日益严重的问题，国务院环境保护委员会在《关于防治水污染技术政策的规定》中指出：“在水资源规划时，要保证为改善水质所需的环境用水，主要集中在宏观战略方面的研究，对如何实施、如何管理仍处于探索阶段。”

（3）20世纪90年代以来，针对黄河断流、水污染等问题，水利部提出在水资源配置中应考虑生态环境需水。20世纪90年代后期，尤其国家“九五”科技攻关项目“西北地区水资源合理利用与生态环境保护（96－912）”的实施，明确提出了“生态需水”的概念，代表着我国生态环境用水研究的真正开始。之后，在南水北调水资源配置、水利与国民经济协调发展等项目中，以及新的全国水资源规划中，都将生态需水作为供需平衡必须考虑的内容。2002年，中国工程院《中国可持续发展水资源战略研究报告》中界定了生态环境用水的概念、范畴及分类，对我国水资源规划及其合理配置具有十分重要的指导意

义，标志着生态环境需水的研究在我国已全面展开。

中国学者陆续开展了相关研究，其中汤奇成以新疆地区为背景，对生态用水的概念、分类等理论问题进行了较为详细的探讨；刘昌明院士等探讨了维持生态需水和控制因发展而带来的水污染、改善水环境的问题；李丽娟等对河流生态环境需水内涵进行探讨，将其分为河流基本生态环境需水、河流输沙排盐水和湖泊洼地生态环境需水三部分；左其亭采用有限容积多箱模型方法对西北干旱区湖泊生态系统水量进行了研究等。

滨江地区生态环境需水研究是在巨大的人口压力导致生态环境严重恶化的背景下提出的，其内涵和外延比国外更大，不仅涵盖河流系统生态环境需水，同时对生态环境脆弱地区的植被需水也进行了广泛研究。目前，对生态环境需水的概念、内涵与外延等没有统一的定义，对其计算方法的研究不够深入，基本停留在定性分析和宏观定量分析阶段。

5.1.4 生态环境需水的分类

生态环境是生态系统与环境系统有机结合的统一整体，按照生态环境需水量的基本特征和表现，可以将其分为生态需水量和环境需水量两部分。生态需水与环境需水两者之间是密不可分的，很难将其隔离开进行单独讨论。总的来说，生态需水是指维持生态系统中具有生命的生物物体水分平衡所需要的水量，而环境需水则是指无生命的无机组分需水。

生态需水侧重于生物维持其自身发展及保护生物多样性方面，主要包括几个方面：维护天然植被所需要的水量，如森林、草地、湿地、荒漠植被等；水土保持及水土保持范围之外的林草植被建设所需要的水量，如绿洲、生态防护林等；保护水生生物所需要的水量，如维持湖泊、河流中鱼类、浮游植物等生存的用水。

环境需水量是保护和改善水环境和与水有关的人类居住环境所需要的水量，主要包括几个方面：

（1）改善用水水质。对于河流，应保证枯水期的最小流量，使其保证河流最基本的环境功能，达到一定的污径比，以改善水质；对于湖泊，主要是加强受污染水体的水量交换，提高水体自净能力和降低单位容积的纳污量，以达到湖泊功能要求和水质标准。

（2）协调生态环境。为维持水沙平衡、水盐平衡及维护河口地区生态环境，需要保持一定的下泄水量或入海水量。

（3）回补地下水。为遏制超采地下水所引起的地质环境问题，需要一定的回灌用水。

（4）美化环境。主要指城市净化、绿化及公园湖泊等用水。

5.2 生态环境需水的量化方法

滨江地区的水生态系统，受人类干扰和主观意识影响的程度非常高，城市生态环境需水量的研究关系到城市发展的潜力和人类生活的质量。城市生态环境需水涉及诸多因素，不同类型城市的区域特点不同，生态环境需水量的计算原则、方法存在很大差异。

滨江地区的生态环境需水研究应综合考虑滨江地区的生态环境特性和生态系统管理目标，各部分生态环境需水的比重关系，在维持研究区域的整个生态系统健康良好发展的动态平衡基础上，充分发挥水资源的经济效率，合理分配水资源。城市生态环境需水涉及到河流、湖泊、植被等多种类型，按照地理位置的区别，生态环境需水量可分为河道内和河道外生态环境需水量，其中河道内生态环境需水包括河流生态环境需水、湖泊生态环境需

水和湿地生态环境需水；河道外生态环境需水主要包括城市绿地系统生态需水和城市环境卫生需水。各分项需水量的具体计算方法逐项论述如下。

5.2.1 河流生态环境需水量

滨江地区对河流系统的利用和对河流生态环境系统的影响程度，可以划分为4个阶段：

（1）未被人类利用阶段。该时期的河流系统保持原始自然状态，河道内水量充足，完全能够满足河流系统的生态功能。

（2）合理利用阶段。该时期的河流系统虽然受人为的影响，但河道内剩余的水量能够满足河流系统的生态功能，保持系统的生态平衡和稳定。

（3）极限利用阶段。该时期的河流系统受人为影响极大，人类对水资源的开发已到了最低限度，如果超过此极限，就会使河流生态系统遭到破坏。此阶段河道内保留的水量就是保证河流生态系统稳定的阈值，也就是满足河流最基本生态功能的河道最小生态水量。

（4）过度利用阶段。该时期水资源的开发利用已经超出了水资源极限利用阶段，河流系统受到人类的极度影响，河道内剩余的水量已经不能满足河流基本生态功能的需求，河流生态系统遭到破坏，水生态环境恶化，必须尽快恢复和重建河流生态系统环境。

河流生态环境需水量是指为了维持和改善河网系统正常的生态结构与生态环境功能所必须蓄存和消耗的水量。城市河流生态环境需水量 W_1，主要包括：河流基本生态环境需水量 W_{11}；维持河流水质平衡的生态环境需水量 W_{12}；补充水面蒸发的生态环境需水量 W_{13}；河流景观和水上娱乐等的需水量 W_{14}；河口区生态环境需水量 W_{15}。由于各部分水量有一定的交叉，总需水量 W_1 并不是上述所有分项需水量的简单相加，而是要根据他们之间的相互关系来分析，得出同时满足上述各项要求的最小水量。

滨江地区属于平原河网地区，河堤高程一般较低，河道常年有水，与地下水为互补关系，枯水季节地下水补充地表水，丰水季节地表水补充地下水，因此不考虑河道渗漏损失。

5.2.1.1 河流基本生态环境需水量 W_{11}

对于常年性河流而言，维持河流的基本生态环境功能不受破坏，就是要求年内各时段的河川径流量都能维持在一定的水平上，不出现诸如断流等可能导致河流生态环境功能破坏的现象。河流基本生态环境需水量是维持河流系统存在、水生生物的正常生长，满足部分的排盐、入渗补给、污染自净等方面的要求所需的最小水量，低于这一水量，河道便会萎缩、退化甚至消失。

河流基本生态环境需水量 W_{11} 的计算采用最枯月平均流量法，该法参考美国7Q10法。7Q10法采用90%保证率条件下的最枯连续7d平均流量的水量作为河流流量的最小设计值，由于该标准要求较高，鉴于我国目前的经济发展水平相对落后且南北方水资源情况差别较大，我国在GB 3839—83《制定地方水污染物排放标准的技术原则和方法》中规定，一般河流采用近10年最枯月平均流量或90%保证率最枯月平均流量，其计算公式为：

$$W_{11} = TQ_{\min} \tag{5.1}$$

式中 Q_{min}——近10年最枯月平均流量或90%保证率最枯月平均流量，m^3/s；

T——换算系数，取值为31.536×10^6。

W_{11}的求取方法还可以采用假设法，假设以某一年作为标准年，认为该年的水环境状况基本能够维持河流生态系统平衡，则将这一年的水量作为河流基本生态需水量。

5.2.1.2 维持河流水质平衡的生态环境需水量W_{12}

滨江地区河网系统中的水环境问题十分突出，系统生态平衡的失调更多是由于水质恶化引起的，良性的河网水生态环境系统需要一定有质量保证的水量来支撑，以维持系统的生态平衡。河道内生态环境需水更侧重于环境需水，即系统的需水量主要是为保护和改善居住环境及水环境所需要的水量。滨江地区河网稠密，受潮汐和闸坝人为控制的影响，水流流态顺逆不定，维持河流水质平衡的生态环境需水定量研究比较复杂，主要是根据水环境容量的基本原理，以河流不同环境功能区划的水质目标为约束推求。

W_{11}、W_{12}两项需水量存在相互交叉，取其中的较大值。

5.2.1.3 补充水面蒸发的生态环境需水量W_{13}

滨江地区河网密布，水面面积较大，水面蒸发是水体水量消耗的重要方式之一，为维持河流、湖泊自身的生态功能，应保证一部分水量，用于弥补水面蒸发的消耗。当水面蒸发量大于降水量时，必须用城市河道水面系统以外接纳的水体来补充，把这部分水量称为补充水面蒸发的生态环境需水量W_{13}。

根据各规划水平年的水面面积A、降水量P及水面蒸发量E，可求得不同水平年的补充水面蒸发的生态环境需水量W_{13}，即当$E>P$时，$W_{13}=A(E-P)$；当$E<P$时，$W_{13}=0$。可以用多年平均蒸发量代表各个水平年蒸发量，与对应20%、50%、75%、95%降雨水平年进行计算。

5.2.1.4 河流景观和水上娱乐等的需水量W_{14}

河道内其他需水包括渔业、景观和娱乐等，一般不消耗水量，但对水位、流量等有一定的要求。例如，在渔业方面，为保证鱼类安全过冬，鱼塘水深应在1.5m以上，鱼类产卵一般需要水位涨落刺激；有旅游功能的景观河道应保持一定的水位，以便有足够的水深和水面供游览和水上运动。景观娱乐需水与河流其他需水取外包线，根据滨江地区的实际情况，这部分用水一般在满足其他功能目标的同时基本上能够自动满足，所以不再单独计算。

5.2.1.5 河口区生态环境需水量W_{15}

将河口区生态环境需水量单独列出的主要原因是由于河流在河口段具有许多特殊性。河口是一个相对独立的水环境和生态系统，系统内的水量、水质和生物三者相互联系、制约，河口区往往是具有重要生态价值的栖息环境，其种群数量及生物多样性特征非常典型。随着社会经济的迅猛发展，水资源利用强度增加，对河口生态环境的影响和压力愈加突出，河口区生态环境需水的准确计算关系到河口生态环境的稳定以及河口地区的取水、防洪排涝安全。

河口区除了正常河道生态环境需水外，还需要足够水量来维持入海口的水盐、水沙等平衡，防止海水入侵和河口淤积。此外，河口通航和湿地也会对径流提出一定的要求，但由于河口段河床冲淤变化及潮汐强弱带来的水深变化对它们的影响，远大于现有径流增减

带来的影响，因此通航和湿地需水不单独计算。由于入海需水受径流量、入海地形、含盐量及生物量和生物多样性等众多因素影响，其估算指标和估算方法确定相当复杂，目前主要是从水力学的角度出发，没有一种比较公认的方法和标准。

1. 水沙平衡

由于浅水摩阻力效应，导致进入河口的潮波变形，涨潮历时减小，落潮历时增加，故涨潮的流速、含沙量大于落潮的流速、含沙量，表现为河口的“下冲上淤”；洪水期间径流增大，加大了落潮流量、流速和历时，挟沙能力也加大，表现为“上冲下淤”，如此维持河口全年或年际的泥沙冲淤平衡。如果没有充足的水量冲刷枯季淤积的河道，会造成河口逐步淤积，最终消亡。

目前水沙平衡可以用3种方法计算：河相关系法、动床数值模拟法和实测资料统计型法。河相关系法主要用来预测径流开发后河口的最终平衡状态，计算方法简单，适用于无资料河口。动床数值模型计算方法模拟短期冲淤变化，具有一定的精度，但其时间步长很短，通常以秒计，进行长系列计算时工作量太大，累积误差难以控制，所以一般用来补充实测资料中缺乏的特殊水情。实测资料统计法以实测资料为依据，简单可靠，适用于有大量实测的地形、水文资料的河口。

滨江地区非入海区河水含沙量很低，在生态需水量的计算中不考虑河流的输沙需水量。

2. 水盐平衡

河口区在潮流、径流两种动力作用下，河口沿程的盐度分布处于动态平衡，若进入河口的淡水径流减少，势必改变河口咸淡水的天然分布，盐水上溯河道，造成河水中的含盐度增高，影响水质，影响河口两岸城市生活、工业和农业灌溉用水，因此河口区生态环境需水的计算大致可以用含氯度（氯离子浓度）来表示，当水中的含氯度大于250ppm时，对水质的安全就构成了威胁。

以长江为例，上游径流量和外海涨潮量是影响长江口地区水中含氯度的两个主要因素。据长江口吴淞站1992～1996年各月平均含氯度和长江干流外潮汐影响的上边界站大通站各月平均流量统计成果分析，大通站径流量和吴淞水厂含氯度基本呈反比关系。当大通径流量枯季大于某一数值时，河口一般没有显著的盐水入侵现象。但由于大通站至河口区间工农业取用水的影响，实际上河口地区的入海流量与大通站的流量有差别，20世纪70年代以前，大通站流量在10000m^3/s时，河口一般没有显著的盐水入侵。然而1979年3月大通站月平均流量为10400m^3/s时，长江口盐水入侵上海吴淞水厂，水厂原水氯度高达1360ppm，估计实际到达河口段的淡水流量在5000m^3/s以下，比大通站流量少一半以上。

滨江地区下游很多河流与河口相通或直接入海，例如，近年来长江下游的常熟市、太仓市和张家港市已经受到了咸潮倒灌的影响。因此需要一定的径流稀释上溯的咸水，必须保证一定的淡水河流流量，以控制海水入侵在最小的咸水界，防止咸水入侵，保证河口区的供水安全。

5.2.2 湖泊生态环境需水量

滨江地区湖泊生态环境需水量的基本要求是维护湖泊的合理水位、加强水体的水量交

换、提高水体自净能力，以达到湖泊功能要求和水质标准。滨江地区城市湖泊生态环境功能大多已经部分或者完全丧失，如果没有人为调控和管理措施，生态环境将持续恶化。为维护城市湖泊生态环境质量不至于进一步恶化以致不可恢复所需要的水量就是最小生态环境需水量，是城市湖泊生态环境需水量的下限。

城市湖泊的生态环境需水量 W_2 主要包括：湖泊基本生态环境需水量 W_{21}、湖泊蒸发需水量 W_{22}、湖泊渗漏需水量 W_{23}、湖泊净化需水量 W_{24} 和湖泊景观、娱乐需水量 W_{25}。其中湖泊基本生态环境需水量、净化需水量和景观、娱乐需水量之间存在兼容性。

1. 湖泊基本生态环境需水量 W_{21}

湖泊基本生态环境需水量涵盖了湖泊自身存在的需水量和生物栖息地、水生生物生长的需水量，是保证湖泊的正常存在及基本功能的发挥应保持的蓄水量，此水量属于生态需水的最小水量。W_{21} 的计算采用最小水位法，依据湖泊多年的水文资料，在考虑一定保证率的情况下，得出湖泊的平均水深，再根据湖面面积，计算出湖泊平均蓄水量作为估计值。

最小水位法计算公式为：

$$W_{21} = H_{\min} \times A/T \tag{5.2}$$

式中 $H_{\min}$——维持湖泊生态系统各项基本生态环境功能的最小水位的最大值；

A——水面面积；

T——换水系数。

2. 湖泊蒸发需水量 W_{22}

湖泊水资源以地表水形式存在，同时与大气水、土壤水和地下水有着密切的关系。湖泊蒸发需水量主要为湖泊水面蒸发需水量，若湖泊中含有大量的挺水植物和浮水植物，则还需要考虑这些植物的蒸发需水量。湖泊水面蒸发量的计算公式为：

$$W_{22} = E_r A - P_r \tag{5.3}$$

式中 E_r——湖泊水面蒸发能力；

A——水面面积；

P_r——湖泊内降水量。

3. 湖泊渗漏需水量 W_{23}

一般城市湖泊湖底都做了防渗漏层，生态环境需水量计算中不再考虑渗漏需水量。如果没有做防渗漏层，当湖泊中有水存在时，水位抬高，水压加大，在地下水水位较低的情况下就会产生渗漏损失，湖泊渗漏损失水量的计算通常采用经验公式计算：

$$W_{23} = KW \tag{5.4}$$

式中 W——湖泊年均蓄水量；

K——研究区渗漏系数。

4. 湖泊净化需水量 W_{24}

滨江地区大多数城市湖泊富营养化严重，为了提高湖泊稀释自净能力，使水质达到预定的标准，就需要人工补充清洁水源，净化需水量按下式进行估计：

$$W_{24} = W_l + W_d \tag{5.5}$$

$$W_l = \max[(c_i - c_{标i}) / c_{标i}]Q_i \tag{5.6}$$

$$W_d = \max[(c_{本i} - c_{标i}) / c_{标i}]Ah \tag{5.7}$$

式中 W_l——净化入湖污水的需水量；

W_d——净化本底的需水量；

c_i——第 i 种监测指标的排放浓度；

$c_{标i}$——第 i 种监测指标的达标水质级别浓度；

Q_i——污水排放量；

$c_{本i}$——第 i 种监测指标的本底浓度。

5. 湖泊景观、娱乐需水量 W_{25}

城市湖泊的一个重要作用是景观、娱乐，这部分需水量和其他各项湖泊生态环境需水量相互兼容，在其他需水要求得到满足的情况下基本上可以得到满足，不需要单独计算。

5.2.3 湿地生态环境需水量

湿地是缓冲陆地和水生系统交互作用的群落交错区划，是自然界最具生产力的生态系统和人类最重要的生存环境之一，在抵御洪水、调节径流、蓄洪防旱、控制污染等方面具有不可替代的作用。改变湿地水文条件将会很大程度上影响湿地生物多样性，并导致湿地生态系统的改变。湿地生态环境需水是指为保证湿地自身存在和发展，维持其内部生态过程和发挥其环境功能所必须蓄存和消耗的水量。

湿地生态环境需水量主要包括湿地植物需水量、湿地土壤需水量和野生生物栖息地需水量。

1. 湿地植物需水量

湿地植物需水量包括植物含水量、蒸腾量、植株表面蒸发量以及棵间蒸发量等几部分。其中，蒸腾量和棵间蒸发量是主要的耗水项目，占整个植物需水量的99%左右，因此可以用蒸发量来近似地代替植物需水量。陈刚起等建立了沼泽湿地蒸发量统计模型，模型公式如下：

$$E=2.65t_w^{0.65}e^{(-3.25/d)}S^{0.4}+0.72W-1.1 \tag{5.8}$$

式中 E——沼泽蒸发量，mm/d；

t_w——沼泽水面日平均温度，℃；

S——沼泽植被覆盖率；

d——1.5m处日平均气压饱和差，mb；

W——1.5m处风速，m/s。

2. 湿地土壤需水量

湿地土壤需水量与植物生长及其需水量密切相关。在计算土壤需水量时，根据湿地上覆盖的植被类型的不同，划分湿地土壤含水量级别，分别计算不同等级的湿地土壤需水量，具体的湿地土壤需水量划分标准见表5.1。

表5.1 湿地土壤需水等级划分

湿地植被类型	小叶草	小叶草—毛果苔草	毛果苔草	毛果苔草—漂筏苔草	漂筏苔草
土壤需水量级别	最小	较小	中等	优等	最大

3. 野生生物栖息地需水量

野生生物栖息地需水量是鱼类、鸟类等栖息、繁殖需要的基本水量。水面相对沼泽植

被面积的比例以及水深，在很大程度上决定着物种的多样性。因此，采用水面面积以及水深作为野生动物栖息地需水量级别划分的标准，具体分级见表 5.2。为避免与湿地土壤需水量的重复，只计算地表以上低洼地的蓄水量。

表 5.2　　湿地野生动物栖息地需水等级划分

需水级别	最　小	较　小	中　等	优　等	最　大
淹水面积比例（%）	20	30	50	70	100
水深（m）	0.3	0.5	0.8	1.5	2.0

综合上述计算结果，扣除土壤需水量和野生生物栖息地需水量之间的重合部分，即为湿地生态环境需水量。

5.2.4　城市绿地系统生态需水量

城市绿地系统的生态需水量 W_3 重点考虑不以降水为依托的城市公共景观绿地的生态用水量，主要包括园林、道路绿化带、河岸生态林、风景区林地等。对于当地的一些优势植被，降水对其生存的维持作用巨大，一般生态环境的退化是由于人类过于频繁地活动对植被产生的直接影响，而非水资源不足所致，在减轻人为活动的情况下多数都能自动恢复，所以这部分植被的需水量不在计算范围之内。

城市绿地生态环境需水量一般包括绿地植被蒸发需水量、植物生长需水量和维持植被生长的最小土壤含水量。城市绿地系统生态环境需水量一般采用面积定额法计算，计算公式如下：

$$W_3 = \varphi F \tag{5.9}$$

式中　φ——绿化用水定额；

F——城市公共绿地面积。

φ 的取值，综合考虑以下因素：

（1）绿地的净灌溉定额和维持绿地的正常蒸发所需的水量。植被自身的含水量和植被蒸发量的比例大约为 1∶99，植物在生长过程中所吸收的水分，大部分用于蒸发，只有很小的一部分作为植株体存在所必需的水分。

（2）土壤含水量的大小直接影响城市绿地生态系统的健康状况。如果土壤含水量过小，随着土壤溶液的浓度升高，土壤水势和植被细胞水势之间的平衡就会丧失，植物细胞盐物质浓度上升，将导致植物生长不良乃至死亡；如果土壤含水量过多，土壤孔隙被水阻塞，通气状况恶化，则会造成植物根系处于缺氧环境，抑制植物有氧呼吸，同样会影响植物的健康状况。

城市绿地生态用水也可以简单地采用单位平方米绿地面积每月用水 1～2L 来估算。

5.2.5　城市环境卫生需水量

城市环境卫生需水量 W_4 主要指城市道路浇洒需水量，根据研究区城市城镇人均道路广场面积用定额法估算。

5.3　存在的问题

综上分析可看出，对于生态环境需水研究虽取得了较大的进展，但对其理论和计算方

法的研究还不够完善。

（1）生态系统的范围，生态环境需水量的定义、类型的划分及具体计算方法都没有统一、公认的基础理论，现有的生态环境需水量化方法均存在不同程度的缺陷，尚未形成统一和成熟的，适宜我国生态环境建设的量化方法，而且人工智能、3S 技术等新技术、新方法的应用较少。

国外许多关于河道内生态需水量的计算方法涉及大量的生物资料并需要现场数据的支持，并不适合我国的情况。植被生态需水量的定量计算研究还不成熟，不同区域、不同类型的植被，生态需水的情况是不同的。由于缺少足够的实验数据，目前各种计算方法之间的比较很少，很难确定哪种方法的计算结果更加准确。

生态环境需水量的计算从宏观上，研究的是流域或区域尺度的大系统，而具体的计算是从生态环境需水量组成的单项研究出发。我国现有生态环境需水量的计算方法以单项研究居多，对各单项之间的关系考虑不够，各项生态环境需水量之间的计算存在重复、交叉。

应该继续加强生态环境需水量的基础理论研究，为准确计算生态环境需水量提供可靠的理论依据。根据滨江地区社会经济发展状况、生态环境状况和水资源的自然、社会属性，借助新理论和新技术，研究适合于不同对象、时段及要求的生态环境需水量化方法。

（2）研究生态环境需水的目的是维持生态环境系统的良性循环，在经济发达的滨江地区，生态环境需水往往被生产、生活需水所挤占，如何实现生态环境需水与生产、生活需水的协调，实现水资源的可持续利用是研究的重点。目前，对于生态环境需水研究多以现状为主，缺乏合理的生态环境需水判别标准及目标，难以借鉴，因此应在社会经济可持续发展和对可再生性水资源重新评价的基础上，立足于雨水资源，对生产、生活和生态环境需水之间的关系进行深入探讨，对生态系统承载力和水资源承载力及其调控模式进行系统研究，建立适宜的生态环境需水标准与目标。

（3）滨江地区水利工程引排水调度频率较高，不同的引排水调度方式必定对河网的生态环境需水量产生影响。同时，工业污染源排污口的位置及排放方式不同，维持河流水质平衡的生态环境需水量必不相同，因此要对环境规划分析后河流必须接纳的污染物量在各个排污口之间进行优化分配，以确定最小的生态环境需水量。

第 6 章　滨江地区节水减污研究

6.1　现状分析

6.1.1　节水存在问题

随着社会经济的不断发展，滨江地区的用水量呈逐年上升趋势。由于没有形成节约用水的有效管理机制和社会风气，人们对于节水意义的认识还比较模糊，在生产、生活等领域较为普遍地存在着结构型、生产型和消费型浪费，水资源利用方式上还存在粗放式的环节，全社会节水防污能力有待进一步提高。滨江地区节水主要存在以下问题：

（1）公众节水意识淡薄。滨江地区地处沿江，过境水量丰富，长期以来人们忽视了对水资源的爱惜和保护，认为水是取之不尽、用之不竭的廉价资源。随着滨江地区城市化水平的提高和沿江开发的大力推进，水资源问题必将更加严峻。淡水资源是有限的，是一种宝贵的战略资源，水资源的永续利用是滨江地区社会经济发展的物质基础。因此，要加强宣传教育，更新观念，树立可持续发展观念、水权观念和资源意识，提高全民对水资源重要性的认识，对未来的“水危机”有充分的紧迫感和责任感，从人类向大自然无节制的索取水资源转变为人与水的和谐共处。

（2）水资源利用效率不高。水在工矿企业生产中是不可缺少的物质，近几年来，随着滨江地区经济社会的迅速发展，工业用水增长较快，工业用水主要集中在火力发电、纺织、造纸、冶金和石化等行业。滨江地区目前的工业节水潜力很大，推动工业节水对保障滨江地区经济社会可持续发展意义重大。

农业用水效率方面，滨江地区大部分地区仍然采取传统的灌溉方式，农业节水灌溉面积占有效灌溉面积的比例较低。

滨江地区，城市供水管网水漏损也比较严重，节水器具使用率普遍偏低。在废污水回用方面，处理后的再生利用率不足 10%，大部分处理后的废污水直接排入河道。

滨江地区总体节水水平较低。粗放式的用水不仅造成了水资源的浪费，也导致了滨江地区水环境的日益恶化。尽管滨江地区每年投入大量资金开展内河整治，遏制了其水质恶化的趋势，但要恢复原有水平尚有相当艰巨的工作要做。应统筹生活、生产、生态用水，在维护生态和环境最为基本的水资源需求的基础上，调整生产力布局和产业结构，提高水资源的利用效率。

（3）节水型社会建设。建设节水型社会是解决滨江地区用水问题最根本、最有效的战略措施。节水型社会是水资源安全可靠供给、集约高效清洁利用，经济、社会和生态环境协调发展，人与自然和谐相处的社会。节水型社会代表着高度的社会文明，是现代化的重要标志。为实现经济、社会和环境的健康协调发展，需要按照科学发展观和构建和谐社会的要求，通过建设节水型社会，注重源头预防和主动治理，使滨江地区水资源利用效率得

到提高，生态环境得到改善。

滨江地区节水工作的基础较为薄弱，建设节水型社会的任务有很强的紧迫性和艰巨性。滨江地区的节水水平不可能短期内赶超国内先进水平，只能实事求是，充分发挥滨江地区的人力、物力和财力优势，探索一条切合滨江地区实际情况、循序渐进的发展道路，稳步、扎实地推进城乡节水工作的开展，推动滨江地区走上健康、协调的发展道路。

6.1.2 工业污染源达标排放

1998 年实施的国家标准 GB 8978—1996《污水综合排放标准》按照污水排放去向，规定了 69 种水污染物最高允许排放浓度及部分行业最高允许排水量。水污染物达标排放行业包括化工、轻工、纺织、冶金、医药、市政等 57 个行业和部门。国家排放标准是污染源排放污染物行为最基本的控制要求，地方污染物排放标准是影响环境质量的重要因素。在企业排放全面达到国家排放标准而环境质量仍然超标的地区，必须制定和实施严格的地方排放标准。

近年来，江苏省、山东省、上海市等地区都针对当地实际情况制定了更为严格的地方排放标准。以江苏省为例，2006 年江苏省编制了化工行业的地方排放标准——《江苏省化工行业主要水污染物排放标准》，该标准以 COD、氨氮、总磷 3 种主要污染物为重点控制对象，明确了江苏省七大门类化工企业的 25 种水污染物最高允许排放浓度，比国家标准 GB 8978—1996 更为严格。经预测，新的地方标准实施后，2010 年江苏省化工行业主要水污染物氨氮排放总量将比 2005 年削减 24%。

多数达标排放的工业企业采取的是分散治理的办法，即企业不分大小，都建设一套治污设施，以保证所排污水达到排放标准。分散治理存在很多问题：

(1) 基建投资和运行费用高。

(2) 环境效益差。一些中小企业受经济利益的驱动，不运行已经建起来的治污设施而违法偷排；还有一些企业由于管理不善，治污设施常常处于超标排放状态。

(3) 难以进行监督管理。执法人员面对的管理对象众多，一些企业在执法人员检查时运行治理设施，执法人员一离开，企业的治污设施就不运行了。

采用分散与集中治理相结合的办法可解决上述问题，即各工业企业先在厂内做部分处理，使其污水满足进入城市排水管网的要求（即三级排放标准），进一步的处理任务由集中污水处理厂或由既接收工业污水、又接收生活污水的城市污水处理厂来承担，企业只需按照所排污染物的总量交纳一定的排污费即可。相当一部分企业的污水无需厂内治理就达到三级排放标准，其污水可直接进入城市排水管网，不用再做厂内处理。

采用分散与集中治理相结合的办法，可保证投资的环境效益，简化监督管理，通过合资、集资为城市污水处理厂筹集部分资金，同时能够节省企业的基建投资和运行费用。根据对部分企业的调查，基建投资和运行费用比分散治理的处理系统低 20%以上。这种办法的实施需要政府的规划和组织，要求凡在城市排水管网覆盖范围内的工业企业，其污水必须进入污水处理厂集中处理。少数远离城市、污水难以并入污水集中处理系统的工业企业可以采取分散治理的办法。

另外，目前滨江地区城市生活污水处理率比较低，大量的生活污水没有经过处理就直接排进了水体，污水处理厂及其相应的污水管网建设同样已经刻不容缓。

6.1.3 达标污水处置

滨江地区工业企业多、人口密度大，即使企业和污水处理厂都达标排放了，对水环境仍然存在较大的压力，从完成流域、区域水体治理规划中规定的排污总量削减计划，以及保证水质目标实现的角度出发，必须考虑对达标污水进一步处理的问题。

6.1.3.1 达标污水的排放污染

污水处理设施的建设、运行情况直接影响城市的水环境质量。滨江地区部分城市已经开始全面征收城市污水处理费。滨江地区应在不断加大财政投入的同时，加大力度不断完善污水处理收费机制，多渠道筹集资金，向污染者收取处理费用，建立污水处理设施建设和运营的良性循环机制。

城市（含工业）污水处理厂出水（以下简称达标污水）中仍然含有大量污染物质，集中直接排放水体，是不容忽视的水体主要污染源。比较 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》和 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》，主要指标见表 6.1。从表中可以看出，相对于地面水环境质量，按照较高排放要求的一级 B 标准，达标污水仍含有大量的污染物质，属于劣Ⅴ类水。若达标污水排放量大、排放点设置不合理或排放点过于集中，仍会使污染负荷量远远超过受纳水体的纳污能力，如果排放点在饮用水水源附近，将给饮用水处理带来极大的困难。

表 6.1　　地表水环境指标与达标污水污染物指标比较表　　单位：mg/L

标准	GB 3838—2002《地表水环境质量标准》		GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》
水质指标	Ⅳ类	Ⅴ类	一级标准的 B 标准
COD_{Mn}	10	15	—
COD_{Cr}	30	40	60
BOD_5	6	10	20
氨氮	1.5	2.0	8（15）
TP	0.3	0.4	1.5
F_n	0.01	0.1	0.5
石油类	0.5	1.0	3.0

注　括号内外的数值分别为温度不大于 12℃和大于 12℃时的控制数值。

日本东京都污水处理率达 95%以上，但东京湾富营养化仍有增长的趋势，赤潮时有发生。川崎市、横滨市和东京都的污水二级处理率都达到 100%，达标污水排放的负荷仍占入海负荷的大半，海水上层水 COD_{Mn} 质量浓度为 5.46～5.75mg/L，达不到海水水质标准要求。

滨江地区大多属于经济增长和社会发展较快的地区，污水和达标污水排放量不断增加。尽管污水处理率在提高，但大量的工业和生活达标污水就近排入流速小、流向不定的河网水系，导致河网地区水体污染状况日趋严重，水生态环境功能日渐减退，达标污水排放污染状况应引起高度重视。

6.1.3.2 达标污水的出路

滨江地区达标污水的出路主要有直接排入地面水体和中水回用两种。

1. 排入地面水体

滨江地区属平原河网地区，江河湖泊纵横交错，受江潮影响，可以根据滨江地区区域总体规划、产业布局、江河湖库的水环境容量和水功能区划，结合地形地貌，水流流向顺逆变化，江滩、河滩、沙洲与湿地较多，芦荡密布等特征，进行综合设计，确定排放方式、排污口位置、排放规模等，将达标污水直接排入地面水体。

2. 深度处理、中水回用

中水主要是指城市污水或生活污水经过处理后达到一定的水质标准，可在一定范围内重复使用的非饮用水，中水使用范围包括农业、工业、城市绿化、河湖景观、道路清洁、洗车、居民冲厕以及城市污水集中处理回用管网覆盖范围内的公共建筑生活杂用水。

国内外污水资源化的实践表明，再生回用是节水减污、保持健康水循环不可缺少的措施，是达标污水的主要出路之一。中水是城市稳定的淡水资源。科学合理地回用污水，将中水作为可利用水资源的一部分，可以达到节约水源、减少污染物排放量的双重目的，一方面可以节约大量的新鲜水，通过分质供水提高资源的使用效率；同时可以减少废物排放量，降低污水排放对环境的污染。中水回用对滨江地区的水资源保护、水污染防治和经济可持续发展具有重要作用。

达标污水水质不同于原污水水质，有机负荷低。达标污水深度处理工艺优化组合形式及其生物处理技术，应侧重于低负荷、贫营养达标污水生物处理的微生态环境特性，完善生物处理技术，使出水生物稳定性提高，出水水质能够满足相应的回用用途的水质标准。滨江地区城市污水处理厂的规划、设计与建设要改变仅仅以达标排放为目标的思路，既满足滨江地区水污染控制要求与相应的排放标准，也要使城市污水的再生利用需求与水质要求相一致。

我国对城市污水资源化理论与应用的研究越来越重视，城市污水再生利用的关键技术等方面已经开展研究，并实施了很多示范工程，如天津开发区污水处理厂、纪庄子污水处理厂和青岛海泊河污水处理厂等。但是目前污水深度处理再生利用还仅仅限于缺水和严重缺水的地区和城市，且回用水量相当有限，主要原因是：

(1) 缺少必要的政策引导和水资源优化调度配套机制，再生水利用的配套法律法规不健全，合理的再生水价格体系尚未形成；城市排水规划原则与管道系统布置滞后于再生水利用的要求与发展。

(2) 污水深度处理技术尚不够成熟，污水深度处理工程投资、资金筹措渠道与运营方式等还有待探讨。

滨江地区实施中水回用具有很大的优势，主要在于：

(1) 滨江地区城市化程度高，具有较大的空间集聚和人口规模。人口密度大，密集的城市群使污水的集中处理成为可能，为中水回用提供了广阔市场基础。随着滨江地区经济、社会的快速发展，城市污水处理厂的大量建设为城市中水回用创造了有利的条件。高新技术企业多，高素质的科研管理人员不仅提高了产品的技术含量和水平，也为污水的减量化、无害化和资源化提供了强有力的科技支撑。

(2) 具有较为雄厚的经济实力。各类水利、环保、市政基础设施的建设都需要强有力的资金支撑。改革开放以来，滨江地区总体经济规模和经济发展质量较高，为改善水生态环境奠定了雄厚的经济基础。外向型经济全面发展，有利于吸引外资和国外先进技术、经

验，促进污水治理和中水回用的产业化经营。

6.1.3.3 达标污水处置的关键

1. 达标污水的深度处理

达标污水的深度处理是指根据再生水的使用要求，针对特殊污染物指标，对二级处理进行强化和改革的水处理工艺，以及与其配套的工艺系统。如厌氧—好氧生物处理、活性生物滤池、臭氧—活性炭、微滤与超滤膜分离、膜生物反应器以及物化生化组合工艺等。以生化法为核心的污水深度处理工艺往往采用多反应器的组合工艺，将不同种群的微生物在空间上相对独立分布，具有稳定的运行效果。

2. 中水回用设施建设

与污水深度处理中水回用相配套的管道系统设计，应突破常规“集中建大型污水处理厂，以发挥规模效益和降低建设费用”的规划设计思路。德国曾经对较大城市集中建一个污水处理厂还是多个污水处理厂作过技术经济分析，其结果为后者占优势。从中水回用的角度考虑，若污水处理厂集中设置，势必远离再生水用户，加大输配水管道投资，不利于再生水利用。因此，在扩建或新建城市给水排水管道工程时，应综合考虑促进中水回用、减轻排水管网投资负担、易于分期建设等因素，优化城市排水系统及污水处理厂布局、小区域中水回用管道系统的设计与实施。

3. 达标污水生态净化工程

滨江地区可以合理利用江滩、河滩、沙洲、湿地等自然生态系统对达标污水进行净化，利用土壤—植物—水生生物生态系统对水中污染物的截留和吸附规律，以及对污染物的净化效果，节省部分深度处理投资，使出水达到预定的水质目标。同时应避免在实施过程中造成水土流失和地下水水质污染。

滨江地区湿地资源丰富，可以采用塘与湿地相结合的生态处理系统，使污水在其中得到净化、回收和再用的同时，湿地也获得了水和养分而茂盛，形成稳定良好的湿地生态系统，起到净化空气、调节气候、成为多种生物栖息地等的作用。人工湿地污水处理技术正在中南美洲、非洲、澳洲和亚洲迅速发展，在欧洲共有 6000 余处，在北美有 1000 多处。人工湿地基建费、运行费低廉，运行操作简便，能高效去除多种多样污染物，如有机污染物、重金属、盐类、氮磷、病原微生物等。

4. 达标污水的排放

滨江地区达标污水直接排入河道或海洋，要根据水环境功能区和水资源开发利用的实际情况，在分析现状污染物总量、水环境容量和水动力学条件的基础上，确定适合达标污水直接岸边排放或离岸深水排放的位置；研究达标污水直接排放的条件，岸边排放和离岸深水多孔潜没排放的工艺特点及环境效应；进行集中式达标污水排放对江河湖海生态环境影响的环境影响评价，确定达标污水喷射对江海水体水文、水底底质、航道淤积的影响等。

有时，客观条件不允许达标污水直接排放，可以结合滨江地区水系特征、地形地貌和水环境容量，分析滨江地区达标污水通道建设的可行性和转移达标污水的规模，在滨江地区河道、明渠和管道规划的基础上，进行排污通道设计。明渠污水通道应远离水源保护区和自然保护区，远离人口密集地区和地下水超采严重地区，否则应改用重力排水管道进行

输送。

6.1.4 节水与减污的关系

水是工业发展所必须具备的基本条件之一，工业是社会经济中的用水大户和污水排放大户。一个地区要发展，就必须依靠工业化，这是许多经济学者所认同的观点。然而，综观西方发达国家的工业化历程可以看到，其工业化过程都曾经导致严重的环境污染问题。滨江地区作为新兴的工业中心，发展势头迅猛，也正在经历比较严重的环境污染问题。工业产品产量的大幅增长，带来工业污水排放量和能源消耗的相应增加，使滨江地区原本就已经十分脆弱的水生态环境更加恶化。

滨江地区目前的经济发展，仍然以高水资源消耗、高水污染排放的经济模式为主，水质型缺水已逐渐成为制约滨江地区经济社会可持续发展的重要因素。从源头到水体进行全过程的污染防治，是水环境治理的关键。滨江地区废污水的主要来源包括：工业废污水、城市生活污水和面源污染。废污水的大量直接排放，是造成滨江地区水污染的根本原因之一。废污水排放量与用水量有着密切的关系，一般情况下，每使用单位立方米的水会产生0.7～0.8m^3 的污水排放，用水量越大，废污水的排放量也越大。

节水是指采取现实可行的综合措施，减少水的损失和浪费，提高用水效率，合理、高效地利用水资源。节水和减污是密切联系的，节水可以减少污水排放量，节水等于减污；减污可以增大可用水量，减污等于节水。滨江地区节水的主要目的是减轻水污染，对滨江地区而言，尤其需要降低废污水排放量，提高水环境承载能力，在满足滨江地区经济社会发展的同时，保持良好的生态环境。

由于滨江地区有较大的水源优势，长久以来，人们认为水资源是取之不尽、用之不竭的，以至于带来一系列水资源问题，在滨江地区这样的丰水地区水资源开发利用过程中，要转变观念，大力强调节水，不仅节约水资源量，更重要的是发挥其节水减污效益，解决水质型缺水问题。

滨江地区从20世纪80年代就已经展开水污染防治工作，但20多年过去了，水污染仍没有得到有效控制。出现这种局面不仅是由于人口不断增长、经济不断发展导致污染负荷不断增加等方面的原因，最根本的原因还是水污染防治体系的建设相对滞后，污染物源头控制力度不够。

为保护水环境，加强污染治理技术的研究，建设污水处理设施固然重要，但污水处理费用之高及处理难度之大，使水污染控制受到很大限制，再加上水资源日益突出的供需矛盾，相比之下，在企业中推行节水减污的可操作性更强，是企业控制水污染的首选途径之一。只有变末端治理为源头控制，才能从根本上解决水污染的问题。对工业水污染更是如此，只有采取以源头控制为中心的工业水污染防治思路，才能从根本上解决工业水污染问题。

实施节水是企业降低能耗和水污染控制的重要内容。节水是以源头控制方式解决工业水污染问题的重要措施，从水量上来说，滨江地区属于丰水地区，滨江地区节水的意义更加侧重于节水减污的效果。与此同时，调整工业结构，构建低物耗与低污染的绿色工业体系，降低工业体系中高耗水、高污染的行业比重，可以降低工业体系整体环境负荷。走人与自然和谐的工业化道路，是当前世界各国工业政策的一个普遍主题。

6.2 节水型社会建设

6.2.1 基本原则

1. 统筹兼顾、协调发展

节水型社会包含三重相互联系的特征：微观上资源利用的高效率；中观上资源配置的高效益；宏观上资源利用的可持续。滨江地区建设节水型社会要统筹考虑水资源的开发、利用和保护，实现水资源开发利用与经济发展、生态保护的协调。节水工作要实现“三个结合”，即工程措施与非工程措施相结合，先进技术与常规技术相结合，强制节水与效益引导相结合。

2. 节水防污、保护开发

针对滨江地区水质型缺水的特点，水资源利用应注重节水与防污相统一，在保护中适度开源，不断提高全社会的节水和防污能力。

3. 改革体制、完善机制

推进滨江地区水资源管理体制改革，建立规范的水资源供需关系；加强节水宣传，提高全民节水意识；把节约用水工作逐步纳入法制化轨道，强化城市节水。

6.2.2 制度建设

滨江地区建设节水型社会，重在制度建设，只有通过建立完善的水资源管理制度，才能实现滨江地区水资源开发利用过程的全面节水。建设节水型社会是滨江地区治水模式的转型，从过度依赖工程建设转向制度建设和工程措施并重。

1. 建立协调、高效的水资源统一管理体制

推进滨江地区水资源管理体制改革，逐级建立水资源统一管理体制，对全市的水资源进行统一规划、统一调配，实行地表水和地下水、水质和水量的统一管理。统筹考虑区域涉水事务，建立良性的涉水事务运行机制。

2. 实施用水总量控制和定额管理制度

强制性的区域用水总量控制是用水制度变迁的最大动因。落实和强化宏观上的区域用水总量控制，根据用水总量制定滨江地区的发展战略、调整经济布局。统筹生产、生活和生态用水，协调工业和农业之间的关系，在滨江地区水资源综合规划的基础上，确定全市取用水总量，向用水户配置水资源，建立滨江地区水资源分配体系，实现总量控制。核定滨江地区单位工业产品、人口、灌溉面积的用水定额和基本水价，定额内用水执行基本水价，超定额用水加价收费。每个用水户通过用水定额明确年用水指标，实行总量和定额双控制，把水权落实到每一个用水单元。

3. 建立水权制度，实施水权管理

宏观上的总量控制指标体系和微观上的定额管理体系确立后，采取法律、经济、行政、科技等手段保障水权的实施，使控制指标成为滨江地区每一个用水单元的权利依据，建立完善的用水协调监督机制，允许水权流转形成水市场。

4. 建立科学合理的水资源有偿使用制度

充分发挥市场作用，促进滨江地区水资源的高效利用和优化配置。制定水资源费征收使用管理办法和供水水价管理办法，根据水资源条件和经济水平适时调整水资源费和供水

价格标准，与自来水价格保持适当的比例关系，保证各用水单元按计划用水和节约用水。工业和城市用水实行超定额、超计划累进加价收费；居民生活用水逐步实行阶梯式计量水价；提高城市污水处理费征收标准，合理确定中水价格。

5. 建立和完善节水管理制度

严格取水许可审批、水资源论证和环境影响评价制度，严格建设项目立项前的取水审批，分析评价其取用水的合理性。从源头上控制高耗水、用水工艺落后、有重大环境影响的项目。建立健全滨江地区节水评估制度和“三同时、四到位”制度。工业节水设施必须和主体工程同时设计、同时施工、同时投入运行，工业企业要做到用水计划到位、节水目标到位、节水措施到位、管水制度到位。加强对滨江地区用水单位的节水设施、节水技术改造的检查和监督。

6.2.3 建设目标

依据水利部制定的《开展节水型社会建设试点工作指导意见》和《节水型社会建设规划编制导则》（试行），结合滨江地区的实际，滨江地区节水型社会建设的总体目标是：2006～2010年，滨江地区初步建立起适应经济、社会、生态协调发展要求的节水防污型社会的政策体系、管理体制和运行机制，有效解决水质型缺水的突出问题，使水资源利用效率和效益显著提高，水生态环境质量显著改善，水利服务于经济社会发展的能力显著增强，水安全保障体系持续完善，并建立起现代化水利体系构架。

到2010年，滨江地区实现农业用水负增长，工业用水微增长，生活用水适度增长，主要的节水控制指标达到国内先进水平，主要控制指标如下：

（1）万元GDP用水量（含火电）小于230m^3。

（2）万元工业增加值用水量小于45m^3。

（3）一般工业用水重复利用率大于70%。

（4）工业污水处理率大于98%。

（5）城市供水管网漏失率低于11%。

（6）节水器具的普及率市区大于70%，镇区大于50%。

（7）城镇污水处理率市区大于80%，镇区大于50%。

（8）市区生活污水再生利用率大于70%。

（9）水稻节水灌溉面积达到75%以上。

（10）规模养殖的畜禽粪便综合利用率大于90%。

（11）水功能区水质达标率为85%以上。

（12）区域供水覆盖率大于98%。

（13）集中式饮用水源地达标率100%。

（14）饮用水卫生合格率100%。

（15）建立城区水循环体系；河道的轮浚周期，市级以上河道8～10年，镇级河道5～8年，村组河道3～5年；水环境综合整治、长效管理覆盖范围大于98%。

（16）建立滨江地区水务信息化系统。

6.2.4 保障措施

滨江地区建设节水型社会是一项全社会参与的系统工程，涉及多个行业和部门，关系

到千家万户，需要采取有效措施，调动全市力量，共同建设节水型社会。

1. 加强节水法制建设和行政管理

依据《中华人民共和国水法》和《中华人民共和国清洁生产法》等法律，研究制定滨江地区有关促进节水技术发展的法规和标准。完善法律法规，建立激励和约束机制，推动节水技术的发展与应用。建立强有力的领导机构和高效、协调的工作机制，把节水型社会建设工作纳入滨江地区各部门、各单位日常管理和工作考核之中。建立滨江地区节水信息系统，对用水户的节水信息进行采集和评价，提高节水工作的科学化、信息化水平。

2. 建立发展节水技术的激励机制和约束机制

多渠道融资，加大对滨江地区节水技术创新和节水工程的投入。各级政府对节水关键技术开发、示范和推广工作给予必要的资金支持；对列入国家鼓励发展的节水技术、设备目录的设备，按国家有关规定给予税收优惠；对于以废水为原料生产的产品，符合《资源综合利用目录（2003年修订）》的，按国家有关规定享受减免所得税的政策；引导社会投资节水项目，特别是引导金融机构对重点节水项目给予贷款支持。

滨江地区新建用水工程应积极采用《中国节水技术政策大纲》推荐的节水技术，不得采用《中国节水技术政策大纲》和国家明令淘汰的落后工艺、技术和设备；加强对滨江地区重点用水单位取水定额执行情况、节水新技术、新产品推广使用情况和国家明令淘汰的高耗水的落后工艺、技术和设备的淘汰情况的监督检查；建立节水产品认证制度，规范节水产品市场。

3. 推进节水科技创新

加强滨江地区节水技术创新体系建设，组织开展节水技术交流、技术推广、技术咨询、信息发布、宣传培训等活动。引进和消化吸收国外先进的节水技术，加快发展具有自主知识产权的节水技术和产品。

6.3 农业节水减污

近年来，尽管滨江地区农业用水比重明显下降，但农业仍是用水大户，发展高效节水型农业意义重大。

6.3.1 农业节水措施

针对滨江地区河网地区的特点，农业节水就是要构建农业用水健康循环体系，促进水生态环境系统的健康循环。在灌溉输配水、耕作和规模化养殖过程中，采取有效的节水减污措施，减少回归水造成的水肥流失或暴雨径流产生的农业面源污染对水环境的影响，提高内河水体的自净效果。农业循环用水的主要内容如图6.1所示。

1. 逐步推行农业用水总量控制与定额管理，优化种植业结构

大力发展绿色生态农业，进一步推动滨江地区现代化农业建设，统筹规划现代化农业布局，合理安排作物种植结构和灌溉规模。加快制定滨江地区不同降水年型农业用水总量指标和不同灌水条件下各种作物的灌溉用水定额，合理调整农、林、牧、渔各业的用水比例，限制和压缩高耗水、低产出作物的种植面积。

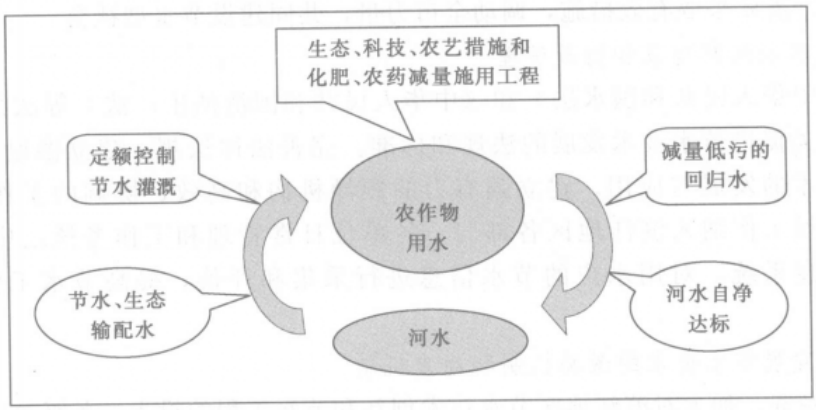


图 6.1　农业循环用水示意图

2. 高效输配水工程建设

滨江地区农业输配水过程中的水量损失所占比重很大，提高输水效率是滨江地区农业节水的一项主要内容。建立节水型灌溉农业体系。发展管道输水技术；积极发展渠系动态配水技术；建设灌溉计量工程，推广精度高、造价低、适用性强、便于管理和维护的小型量水设备，基本做到“按方计量、按户收费”；应用渠道防渗技术，推广采用经济适用的防渗材料。

3. 推广节水灌溉模式和节水农艺技术

建立与水资源条件相适应的节水高效农作制度。水稻推广旱育直播栽培、“三晒”耕作、稀植抛秧技术、干湿间歇灌溉和浅湿控制灌溉技术，淘汰水稻长期淹灌技术和稻田串灌串排技术，优先发展低压管道输配水技术，减少水稻灌溉水量。在果树种植、设施农业、高效农业中大力推广采用微喷灌、滴灌技术。提倡微灌技术与地膜覆盖、水肥耦合农艺技术，如水肥同步供给、以水调肥、水肥共济等有机结合，提高水分和肥料利用率。

依托科技进步大力发展无公害、绿色、有机农业生产，培育特色无公害农副产品，合理使用化肥，降低化肥施用强度，逐步调优肥料结构，大力推广测土配方施肥技术，大力推广使用高效、无污染的绿色有机肥料和生物农药，提高农产品的品质和效益，减少土肥流失对水环境的影响。

4. 养殖业节水

发展养殖业节水技术，提高养殖业用水效率。发展集约化节水型养殖技术；推广养殖废水处理及重复利用技术，分质供水、多级利用；发展畜产品、水产品加工节水技术；推广生态养殖模式。

6.3.2　建立农业节水补偿机制

1. 补偿背景

农业节水的实现主要包括节水种植技术的推广应用和节水灌溉设施的采用。滨江地区实现农业节水的过程中面临着两个问题，农业节水的资金投入、技术投入问题和农业节水长效运行机制的保证问题。

农民通常不可能一次性投入很多用来发展农业节水，只有施行农业节水补偿机制，才能消除或降低采用农业节水带来的成本和技术投入问题。农业节水补偿机制的建设和完善是实现滨江地区农业节水的保障，只有切实保证农户的基本利益，农业节水才能有效地推广和普及。

农业节水在我国的发展从试验到示范再到推广经历了数十年的时间，已经形成了相对成熟的技术储备和推广经验。在农业节水实现过程中应该以能够稳步增加农民收入为基本前提，农业节水补偿机制的建立是农业节水的关键。滨江地区国民经济持续高速增长使得经济实力大大增强，公共投资环境日益宽松，从社会发展的大背景来看，全面推广和实现农业节水的时机已经成熟。

2. 补偿目的

农业节水补偿的目的在于，通过政策倾斜和经济鼓励等多种手段，充分调动农民和供水单位建设农业节水工程的积极性，使农业节水变为现实，进而节约水资源。

3. 补偿对象

农业节水的补偿对象是农民和水管单位，因为农业节水直接影响到两者的利益和收入。

4. 补偿资金来源

滨江地区补偿资金的主要来源有：基本建设资金、技术改造资金、财政支农资金、小农水事业费、水利建设基金、水资源费及水费收入、农业综合开发资金、扶贫资金、占用农业灌溉水源的补偿资金等。

5. 农业节水补偿

补偿不是简单的经济补贴，而是从制度上、运行机制上着手，通过投入体制、管理体制的创新，引入市场化管理理念，应用政策工具、市场手段等方式来实现农业节水，并形成长效激励机制，确保农业节水长效运行。

（1）加大滨江地区农业节水设施建设和改造的投资力度。农业节水设施基本上属于农田基本水利设施建设范畴，对改善农业生产条件，提高农业水资源利用效率以及保护生态环境有着重要的作用，具有明显的公共产品属性，因此应对其进行补贴和扶持，确保农业节水设施改造顺利实施。建设农业节水工程措施的投资比较大，如喷灌和微灌的投资经常达到1.5万～3万元/hm^2，可以采用财政贴息等方式引导工商资本、民间资本和外商资本参与现代农业建设。

（2）采用累进水价，确保实现农业节水。通过制度建设，制定一系列管理措施和规章制度，确保节水灌溉的实行。最有效的管理措施是水价的引入，通过水价改革实现农业节水生产方式转变。采用累进水价的定价方法，科学核定现有节水技术条件下的农业用水定额，作为农业用水基本使用水权。在定额范围内采用低价或免费策略，对农户只收取少量的水费或直接免费供给，国家对供水成本差价部分进行补贴，超额部分实行累进加价，通过高水价迫使农民主动节约用水。

（3）明确水权，完善水权交易机制。农业节水提高了农业水资源的利用效率，从而能将部分水资源从农业领域向其他领域转移，在转移的过程中，必然会要求对这部分水资源进行补偿。水权的界定和水权交易机制的建立可以从根本上解决滨江地区农业节水行为的

补偿问题。

（4）对农民进行免费技术培训，让农民掌握农业节水种植技术。

6.3.3 农业节水布局点

按照滨江地区城市总体规划和“十一五”规划的部署，农业以建设“现代化农业示范区”为重点，加快推进农业产业化、园区化进程，实现由传统农业向高效农业的转化。

滨江地区应以设施农业为切入点，建造现代农业设施，摆脱自然条件和气候的制约，为动植物生长发育提供适宜的环境，进行低耗、高产、优质、高效的集约化生产。同时以农业生产为依托，与现代旅游业相结合发展观光农业，把农业生产和游客参加农事活动等融为一体，供游客领略现代化农业艺术，使现代农业园区既有经济效益，又有观光、休闲功能。

根据现代农业发展规划，设置现代农业园区节水布局点，结合现代农业园区的建设，设施栽培采用精准控制灌溉技术、生物节水与农艺节水技术，设施养殖采用工厂化畜禽技术，提高水分利用率和生产率，节约用水量。在设施栽培园区内应用喷灌技术；推广微喷灌与滴灌技术，把微灌技术与地膜覆盖、水肥同步供给等农艺技术有机结合起来。

6.4 工业节水减污

6.4.1 主要内容

（1）合理调整工业布局和产业结构。禁止引进高耗水、高污染的工业项目，鼓励发展用水效率高的高新技术产业。现有的印染、化工等重污染企业，要加快技术改造，积极推行清洁生产工艺。

（2）推广节水技术和节水工艺。在滨江地区大力推广节水新技术、新工艺和新设备，重点推进高耗水重点行业节水技术改造。严格执行国家经贸委颁布的《限制高耗水项目目录及淘汰落后的高耗水工艺和高耗水设备目录》，对落后的耗水过高、用水低效的项目、产品设备实行强制淘汰。

（3）根据国家节水型产品标准，积极发展节水型产品。

（4）加强用水管理，创建节水防污型企业。以创建节水型企业为载体，创建节水防污型企业，建设工业企业节水防污重点示范窗口，在这些企业的示范带动下，总结推广节水技改经验，加强宣传，深入开展城市节水防污型工业建设活动。

（5）按循环经济的理念，建设节水工业示范园区。近、中期根据滨江地区城市总体规划确定的未来城市发展格局和工业园区布局，集约化、规模化发展工业。在工业园区内，全面实施清洁生产，发展循环经济，开展生态工业示范园区建设，大力发展循环用水系统、串联用水系统和回用水系统，采用水网络集成技术，实施园内厂际串联用水、污水资源化，基本实现工业园区废污水零排放，达到经济效益和环境效益的最佳平衡。远期把各工业园区都建设成节水工业园区，形成资源循环的工业链、产业群。

（6）建设工业水厂。工业水厂是区域经济发展重要的公用基础设施之一。工业用水标准低于生活用水，为实现优水优用，应逐步推进分类分质供水。在滨江地区已建和拟建的工业园区内合理规划、建设工业水厂，不仅能够解决工业园区内企业的供水问题，节省企业生产成本；同时有利于合理配置水资源，提高生活用水的供水保证率，使水资源利用效

率达到最大化。

6.4.2 工业节水措施

由于经济社会的迅速发展，滨江地区工业用水增长很快，推动工业的节水减污意义重大。工业节水减污，不仅可以降低持续增长的用水需求，更重要的是可以有效控制工业污染对水环境的巨大影响，是滨江地区节水型社会建设的重点环节。通过分质供水、多级用水、循环用水、深化污水处理、再生利用和减排等措施，努力构建滨江地区工业用水循环体系（图 6.2），可以促进水生态环境系统的健康循环，保障滨江地区经济社会的可持续发展。

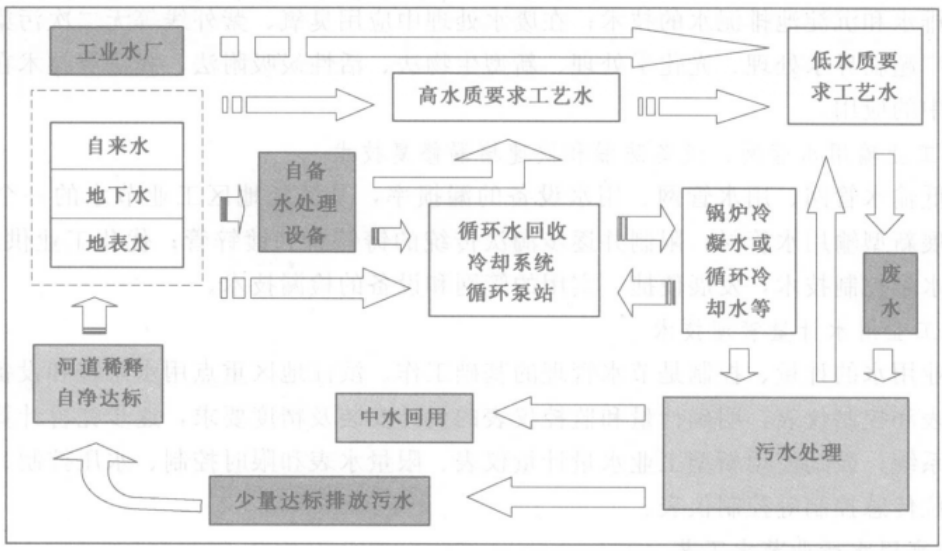


图 6.2 工业循环用水流程示意图

1. 提高工业用水重复利用率

提高水的重复利用率是滨江地区工业节水的首要途径。在新建、扩建和改建项目中采用水网络集成技术；推广蒸汽冷凝水回收再利用技术，优化企业蒸汽冷凝水回收网络，发展闭式回收系统；发展外排废水回用和“零排放”技术，推广外排废水处理后回用于循环冷却水系统的技术，在滨江地区生态环境要求高的地区，鼓励企业应用废水“零排放”技术。

2. 冷却节水技术

发展高效换热技术和设备；发展高效环保节水型冷却塔和其他冷却构筑物，优化循环冷却水系统，加快淘汰冷却效率低、用水量大的冷却池、喷水池等冷却构筑物，推广高效新型旁滤器，淘汰低效反冲洗水量大的旁滤设施；发展高效循环冷却水处理技术，在敞开式循环间接冷却水系统中推广浓缩倍数大于 4 的水处理运行技术，逐步淘汰浓缩倍数小于 3 的水处理运行技术，限制使用高磷锌水处理技术；发展空气冷却技术，加热炉等高温设备推广应用汽化冷却技术。

3. 热力、工艺系统节水技术和洗涤节水技术

推广生产工艺的热联合技术；发展干式蒸馏、干式汽提、无蒸汽除氧等少用或不用蒸

汽的技术；优化蒸汽自动调节系统；推广中压产汽设备的给水使用除盐水、低压产汽设备的给水使用软化水；鼓励采用逆流再生、双层床、清洗水回收等技术，降低自用水量。

工业洗涤节水技术包括：逆流漂洗、喷淋洗涤、汽水冲洗、气雾喷洗、高压水洗、振荡水洗、高效转盘等节水技术；可再循环利用或多步合一的清洗剂及清洗技术；使用再生水和具有光催化或空气催化的自清洁涂膜技术；干冰清洗、微生物清洗、喷淋清洗、水汽脉冲清洗、不停车在线清洗等节水技术。

4. 工业给水和废水处理节水技术

使用新型滤料高精度过滤技术、汽水反冲洗技术等降低反洗用水量技术，推广回收利用反洗排水和沉淀池排泥水的技术；在废水处理中应用臭氧、紫外线等无二次污染消毒技术；推广超临界水处理、光化学处理、新型生物法、活性炭吸附法、膜法等技术在工业废水处理中的应用。

5. 工业输用水管网、设备防漏和快速堵漏修复技术

降低输水管网、用水管网、用水设备的漏损率，是滨江地区工业节水的一个重要途径。发展新型输用水管材，限制并逐步淘汰传统的铸铁管和镀锌管；优化工业供水压力、液面、水量控制技术，发展便捷、实用的管网和设备的检漏技术。

6. 工业用水计量管理技术

工业用水的计量、控制是节水管理的基础工作。滨江地区重点用水系统和设备应配置计量水表和控制仪表，明确计量和监控仪表的设计安装及精度要求，逐步完善计算机和自动监控系统；鼓励使用新型工业水量计量仪表、限量水表和限时控制、水压控制、水位控制、水位传感控制等控制仪表。

6.4.3 高用水行业节水工艺

节水工艺是指通过改变生产原料、工艺和设备或用水方式，实现少用水或不用水，它是更高层次的源头节水技术。滨江地区应重点发展火力发电、纺织、石化、造纸、冶金等高耗水行业的节水工艺技术和设备。

1. 火电工业

大力发展和推广火电行业干式除灰与干式输灰、高浓度灰渣输送、冲灰水回收利用等节水技术和设备；推广燃气—蒸汽联合循环发电、洁净煤燃烧发电技术；加强对中、小容量电厂主辅设备的节水技术改造，建立闭路循环用水系统，减少耗水量，提高重复利用率；根据分质供水的原则，将工业废水和化学废水分别处理回用于间接冷却系统及冲灰系统。

2. 石化行业

推广石化行业稠油污水深度处理回用锅炉、炼化污水深度处理回用、注聚合物采出污水处理等设备和技术；推行清洁生产，鼓励加氢精制工艺，淘汰油品精制中的酸碱洗涤工艺；发展烧碱生产节水工艺，推广离子膜法烧碱，采用三效逆流蒸发改造传统的顺流蒸发；推广万吨级三效逆流蒸发装置和高效自然强制循环蒸发器；氨碱法工厂推广真空蒸馏、干法加灰技术；发展硫酸生产酸洗净化节水工艺和新型换热设备，逐步淘汰水洗净化工艺和传统的铸铁冷却排管。

3. 造纸行业

推广纤维原料洗涤水循环使用工艺系统；推广低卡伯值蒸煮、漂前氧脱木素处理、封闭式洗筛系统；发展无元素氯或全无氯漂白，合理组织漂白洗浆滤液的逆流使用；推广中浓技术和过程智能化控制技术；发展提高碱回收黑液多效蒸发站二次蒸汽冷凝水回用工艺；发展机械浆、二次纤维浆的制浆水循环使用工艺系统；推广高效沉淀过滤设备白水回收技术；开发白水回收和中段废水二级生化处理后回用技术和装备；采用盘磨机械纸浆新工艺，推广高压冲洗技术，减少制纸机的冲洗用水。

4. 冶金行业

推广耐高温无水冷却装置，减少加热炉的用水量；推广炼焦生产中的干熄焦或低水分熄焦工艺、空气冷却工艺技术和设备，减少炼焦用水；推广钢铁工业融熔还原等非高炉炼铁工艺；完善钢铁工业外排污水回用、轧钢废水除油、轧钢酸洗废液回用、高炉煤气干法除尘等技术；以企业为节水系统，开展工序节水，推行一水多用、串用、回用技术和水、气、热交换的密闭循环水系统。

5. 纺织行业

推广使用高效节水型助剂；推广使用生物酶处理技术、高效短流程前处理工艺、冷轧堆一步法前处理工艺、染色一浴法新工艺、低水位逆流漂洗工艺和高温高压小浴比液流染色工艺及设备；鼓励纺织印染加工企业采用天然彩棉等节水型生产原料，推广天然彩棉新型制造技术；推广棉织物前处理冷轧堆、逆流漂洗、合成纤维转移印花、光化学催化氧化脱色等技术。

6.5 城市节水减污

城市生活用水与人民群众日常生活密切相关，城市生活节水对于促进滨江地区节水型社会的建设具有重要意义。

1. 推广节水型器具

节水型用水器具的推广应用，是滨江地区生活节水的基础工作。

(1) 推广节水型水龙头。推广非接触自动控制式、延时自闭、停水自闭、脚踏式、陶瓷磨片密封式等节水型水龙头。淘汰建筑内铸铁螺旋升降式水龙头、铸铁螺旋升降式截止阀。

(2) 推广节水型便器系统。推广使用两档式便器，新建住宅便器小于6L。公共建筑和公共场所使用6L的两档式便器，小便器推广非接触式控制开关装置。淘汰进水口低于水面的卫生洁具水箱配件、上导向直落式便器水箱配件和冲洗水量大于9L的便器及水箱。

(3) 推广节水型淋浴设施。集中浴室普及使用冷热水混合淋浴装置，推广使用卡式智能、非接触自动控制、延时自闭、脚踏式等淋浴装置；宾馆、饭店、医院等用水量较大的公共建筑推广采用淋浴器的限流装置。

2. 开发利用非传统水源

(1) 城市再生水利用技术。城市再生水利用技术包括城市污水处理再生利用技术、建筑中水处理再生利用技术和居住小区生活污水处理再生利用技术。建立与滨江地区城市给

排水系统相协调的城市再生水利用的管网系统和集中处理厂出水、单体建筑中水、居民小区中水相结合的再生水利用体系。在滨江地区城市居住小区中推广再生水利用技术，建筑中水处理回用技术。滨江地区城市居住小区，达到一定建筑规模、居住人口或用水量的，应积极采用居住小区再生水利用技术，再生水用于冲厕、保洁、洗车、绿化、环境和生态用水等。

（2）城区雨水利用。在滨江地区绿地系统和生活小区，推广城市绿地草坪滞蓄直接利用技术，雨水直接用于绿地草坪浇灌；推广城区雨水的环境生态利用技术，将雨水利用与天然洼地、公园的河湖等湿地保护和湿地恢复相结合。

3. 降低输配水损失

采用城市供水管网的检漏和防渗技术，是节约城市水资源的重要技术措施。推广应用预定位检漏技术和精确定点检漏技术，并根据供水管网的不同铺设条件，优化检漏方法。在建立滨江地区供水管网GIS、GPS系统基础上，采用区域泄漏普查系统技术和智能精定点检漏技术。

推广应用新型管材，应用供水管道连接、防腐等方面的先进施工技术。大口径管材（$DN>1200$）优先考虑预应力钢筒混凝土管；中等口径管材（$300\leqslant DN\leqslant 1200$）优先采用塑料管和球墨铸铁管，逐步淘汰灰口铸铁管；小口径管材（$DN<300$）优先采用塑料管，逐步淘汰镀锌铁管。

4. 公共供水企业自用水节水技术

城市公共供水企业节水主要是反冲洗水回用，反冲洗水回用兼具城市节水和水环境保护的双重效能。滨江地区以地表水为原水的新建和扩建供水工程项目，应推广反冲洗水回用技术，选择截污能力强的新型滤池技术，配套建设反冲洗水回用沉淀水池，采用反冲洗效果好、反冲水量低的汽水反冲洗技术。2008年前淘汰高强度水定时反冲洗的工艺技术。

5. 加强公共用水管理

对滨江地区用水量较大的非工业用水户实行计划用水和定额管理，科学、合理地下达计划用水指标，定期考核。明确宾馆、饭店、大型文化体育设施和机关、学校、科研单位等部门和单位的用水指标，确定服务业的用水定额，实行严格的用水管理；普及公共建筑的循环冷却技术，冷却水循环率应达到98%以上，敞开式系统冷却水浓缩倍数不低于3；对景观、绿化、道路用水实施用水计量；提高车辆清洗、浴场等城镇生活用水大户的用水重复利用率；加强对建筑施工用水的监管，减少基坑排水，鼓励基坑水回用。

第7章 应急供水体系

7.1 必要性和可行性

7.1.1 应急供水的原因

滨江地区应急供水体系是相对于常规供水而言的，指在非常情况下，常规供水不足或受阻中断时，能够快速启用以保障区域安全供水的应急系统。应急供水主要有以下两个原因。

(1) 特殊干旱年或连续枯水年形成的水资源匮乏所造成的非常供水。滨江地区多属于季风气候，年际降水丰枯不定，降水变率大，存在明显丰、平、枯水年交替出现及连续数年为丰水段或枯水段的现象，容易发生特殊干旱年或连续枯水年的现象。

(2) 各种突发事件引起的非常供水。突发性事件主要包括：

1) 水源地或供水设施遭受生物、化学、毒剂、放射性物质等污染。

2) 取水水库大坝、拦河堤坝、取水涵管等发生垮塌、断裂导致水源枯竭。

3) 地震、洪灾、滑坡、泥石流、台风、海啸等自然灾害导致取水受阻，泵房淹没，机电设备毁损。

4) 消毒、输配电、净水构筑物等设施设备发生火灾、爆炸、倒塌、严重泄漏事故。

5) 主要输供水干管和配水系统管网发生大面积爆管或突发灾害影响大面积供水。

6) 调度、自动控制、营业等计算机系统遭受入侵导致失控、毁坏。

7) 战争、恐怖活动导致水厂停产、供水区域减压等。

突发性供水事件复杂多变，具有时间、空间、污染源的不确定性，对滨江地区应急供水系统提出了严峻的挑战。

7.1.2 必要性

应急供水体系是一个非常复杂的系统，系统中任何一个环节没有考虑周到而出现问题，都可能产生严重的后果。建立与健全一整套与滨江地区城市化快速发展相匹配、与经济社会可持续发展相协调、与人民生活水平不断提高相适应的区域供水安全保障与应急体系，抵御各种各样的供水危机是水务工作的当务之急，具有十分重要的现实意义和战略意义。

随着滨江地区城市人口的快速集聚和经济社会的高速发展，许多社会因素相互作用、层层叠加而成为风险，原来毫不担心的供水保障有时会变得极为脆弱。供水风险的应对能力是衡量社会的综合发展水平与政府的行为责任能力的重要指标，对经济社会的可持续发展具有重要的意义，如果这方面出现差错，会严重影响人们的基本生活条件和社会的稳定。

7.1.3 可行性

随着滨江地区经济社会的快速发展，区域应急供水系统的建设成为可能。

（1）建立应急供水系统，必定牵涉到系统的投入、运行、日常维护管理和水资源的分配。滨江地区经济总量的增加，使得滨江地区应急供水系统补偿机制的实现成为可能。

（2）滨江地区以“改革水的管理体制”为主要内容的水务一体化管理体制改革改变了以往水资源部门分割管理的局面，整合了水行政管理职能，在更大的范围内实现了水资源的统一管理，使应急供水系统的实施具备可操作性。

（3）计算机网络和信息技术的发展，为滨江地区应急供水系统提供了技术支持。

7.2 应急供水系统的组成

滨江地区应急供水系统由工程措施与非工程措施两部分组成，只有把工程措施和非工程措施结合起来，才能发挥应急水源的最大效能，满足供水非常时期对水的需求。

（1）应急供水工程措施是指应急供水所采取的工程技术手段，包括各种输水建筑物、蓄水设施、改变水质特性的设施等。工程措施是水资源开发的主要手段，其作用是调节、控制、分配水资源和进行水能转换，由于受到复杂的自然条件制约，工程规模往往较大，需要大量的资金、物资投入。

（2）应急供水非工程措施是指应急供水所采取的法律、政策、经济、监督等手段，合理分配和保护水资源，充分发挥各项应急供水工程设施的效益和作用。其主要特点是全面考虑技术、经济、社会、环境等因素，把自然科学、社会科学结合起来去分析，解决滨江地区应急供水问题。

7.2.1 应急供水工程措施

滨江地区应急供水工程措施的核心是应急备用水源工程。可靠的应急备用水源是整个区域应急供水系统的基础和关键，应急水源工程主要包括地下水水源工程、地表水水源工程、外区域调水工程等。分散在区域内的自备井，根据其水质与水位动态变化情况以及供水管网覆盖的范围，也可以作为应急备用水源。

1. 应急备用地下水水源工程

滨江地区地下水资源丰富、水质好，不易遭受污染，一般可直接并网供水；具备多年调节功能，能够保证一定时期内连续稳定地供水并且取水设施不易遭受破坏，因此是最为理想的应急备用水源。应选择厚度大、储存条件好的地下水含水层。这样的水源具有集中供水前景，能够保证在非常供水情况下有足够的储存量可供使用，并可与滨江地区现有供水系统连通。

根据滨江地区地下水源地所处地区的地下水资源状况、调蓄条件等，在应急备用地下水水源工程规划、建设和运行上，应做好以下几个方面的工作：

（1）在规划、建设前，采用区域遥感技术、地球物理勘察、水文地质调查和钻探等多种手段，深入细致地开展水源地勘察工作，为水源地建设提供可靠依据。

（2）采用开采性抽水试验，评价地下水水源地可采资源量以及起用后对当地可能产生的环境地质影响。

（3）建立地下水流模型及水源地信息管理系统，提高水源地科学化管理水平。

（4）建立长期动态监测网，制定监测规程，采用逐步扩大的方式并利用开采动态资料评价允许开采量，为应急水源地管理保护、合理开采提供决策依据。

地下水源具有很强的时效性，并非替代其他水源。作为一种特殊类型的应急备用水源，确保其在非常情况下充分发挥应急作用，又不致产生恶劣的环境地质问题是至关重要的。

2. 应急备用地表水水源工程

滨江地区地表水水源工程主要是指调、蓄水工程，如湖泊、水库等，具有存储、调节径流的作用，能够缓解供水、需水在时空分布上的矛盾，改变可供水量的时程分布。应急供水系统应进一步挖掘当地地表水资源潜力，新建或利用原有调蓄水工程，建立应急备用水源。在确保防汛安全的前提下，尽可能把汛期来水蓄住，调剂余缺，丰水枯用，闲水急用；在特殊干旱年或连续枯水年，结合水文中长期预报，合理调度各种调蓄水工程的蓄量，保障应急供水水源。

各应急地表水源供水工程应纳入滨江地区市政管网统一规划，进行配套供水基础设施的建设，保证滨江地区应急供水的有序进行。要确保应急供水的可靠性，不仅是应急水量要得到保证，还要以多水源地表水与地下水联合调度为原则，加强滨江地区应急输配水管网的建设。除了联通市政管网、工业企业自备水厂的管网等各种配水管网外，还要对从水源到水厂的输水管道进行全面规划。

结合河道整治、景观生态建设、防洪工程等综合需要建设应急输水系统，如利用现有水环境良好的河道为输水载体，在水污染事故发生时，可以把滨江地区的一些地表应急水源地的原水送到邻近水厂，相对于专门为应急供水建设一套输水管道系统或原水处理系统，建设维护成本会大大降低。在需要输水时，沿线实施封闭管理，减少输水过程中的污染。

3. 民井

分散在区域范围内的民井，根据其水质与水位动态变化情况，也可以作为应急补充水源。当饮用水水源地发生大规模突发性水污染事件后，可以充分利用民井水作为饮用水源以外的供水，配以净水或纯水作为饮用水。滨江地区民井数目众多，分布范围广，在应急时期可以作为应急供水的有效补充，主要解决广大农村地区的应急供水问题。

4. 调水工程

有些区域受地理位置的局限，水源单一，一旦遭遇非常供水的情况，整个地区会出现无水可供的局面，不靠外源性补给水资源，就不可能解决应急水源问题。在这些地区可以根据相邻流域供需水量进行流域间水量平衡，采取跨流域、跨区域引水等措施，建立应急供水备用水源，提高自救能力，保证特殊情况下国民经济仍能持续、稳定地发展。

有条件的地区还可以实行异地联网应急供水，如2001年实施的《苏锡常地区区域供水规划》规定，2001～2010年，苏锡常地区12个市、212个乡镇共11890km^2的范围内，将打破原有行政区域的限制，按照长江、太湖现有水厂和可建设水厂的布局，进行合理规划和建设，从而逐步以长江水和太湖水作为供水水源，替代深层地下水源，并最终实现三地联网供水。苏锡常地区联网供水的实施，不仅提高了三地的供水质量和供水安全性，也为应急时期苏锡常三地建设联网互备水源提供了可能，随着苏锡常地区区域供水的进一步实施，可以在更大的范围内实现联动，不断提高应急反应能力。

7.2.2 应急供水非工程措施

1. 脆弱性评价

滨江地区在进行供水危机预防管理中，首先应对各种潜在供水风险进行评估，其中包

括分析危机的数量、种类、性质、特点及其规律，对危机的形态进行分类，并据此制定出具体的供水危机处理战略和战术。滨江地区供水应急体系要突出预警性，坚持“凡事预则立，不预则废”的理念，针对可能出现的各种非常供水情况缜密规划，有备无患。对整个区域供水系统可能存在的安全隐患和薄弱环节进行细致、全面的检查和评价。通过评价，列出非常供水可能发生的各种情况，制定减少供水危机发生的计划，提出供水危机发生后的应急供水措施。

2. 技术支持和技术储备

滨江地区应急供水系统要突出科技性，建立应急技术支撑系统，以计算机网络系统为基础，以有线和无线通信系统为纽带，以接报警系统为核心。

加强滨江地区突发性事故的应急技术储备，开展环境监测技术、生态恢复技术的超前性研究，建立应急水信息系统数据库。这个数据库应包括生产和使用危险化学品的企业和重点污染源的资料；可能的危险品和污染物的特性、快速监测方法、安全防护措施和处置技术；电子脆弱性注意事项及其技术修理方法；应急对策准备的其他资源。

3. 应急监测体系

滨江地区应急监测体系包括以下两个方面：

(1) 各种工程措施的安全监测。加强输、供水设施的保安和防范措施是滨江地区应急供水系统中重要一环，尤其是重要的蓄水设施。对这些设施除了要进行水质监测，还要配备防止人为破坏的监测系统，如网络录像监控系统、运行监测系统等。

(2) 应急水源监测。滨江地区水源监测主要针对水体污染事件。水源突发性污染破坏的处理很大程度上依赖于环境监测技术和人员提供及时、准确的监测数据，为污染水质的扩散预测和恢复做好前期准备。对水中污染物采用实验室监测、测站监测和移动监测三级监测；对挥发性强、毒害作用大的污染物，采用遥感遥测技术和信息解析技术监测。

4. 应急指挥体系

处理供水危机的成效关键在于是否有一个权威、高效的核心指挥系统。非常供水情况一旦发生，以市长为首的供水应急指挥领导小组和有关专家组应立刻开展供水危机处理工作，分析应急监测得到的信息，进行事件动态监视、跟踪评估，选择应急供水的具体方案。采用统一的指挥调度系统，形成一个紧密联系、高度协调的联动模式，在短时间内实现应急反应的最佳决策。

滨江地区在应急供水时期，应启动应急备用水源，结合原有的自来水管网供水系统形成统一的应急供水网络，实现不同应急水源包括外域水与本地水、地表水与地下水的联合调度，高效利用水资源，增加应急供水的保证程度。

当危机涉及相邻的几个城市或整个流域时，就需要从流域的角度应对供水危机，分析流域特征、居民点分布及产业布局，确定供水危机的影响范围、影响程度和可供调度的应急备用水源，在更大的范围内进行水源的应急优化调度。与之相应的供水危机的防范机制也应该在整个流域里建立起来，流域共防的及时响应是整个应急供水系统的真正体现。

5. 应急供水的优化配置

应综合分析区域供需水情况，确定滨江地区应急供水水源工程的规模。针对各种不利

情况，研究应急供水的调度分配和后效评价，确定应急供水的最优预分配方案，尽可能降低供水危机造成的损失。

可按照当地水情及不同水平年制定相应的国民经济产业结构模式和水价体系，建立有序、灵活的应变机制。调整水价政策，根据供水的紧缺程度，建立相应的水价机制，降低用水量；大旱之年，调整农业生产结构与布局，因水制宜，例如春播作物改为夏播；合理安排工业结构，在部门和企业间分配应急水源、核减供水量。

6. 信息发布机制

新型的公共危机应对策略把重点放在新的社会合作机制方面，以社会信任和社会团结化解共同的危机。也就是说，技术解决方案很重要，但是社会的和衷共济与相互信任更重要。把供水危机的真实信息和要采取的措施告诉公众，取得公众的理解和支持是维护社会稳定的前提。如果隐瞒事实，往往因流言的传播而“小事化大”，出现混乱局面。

7. 灾险恢复体系

面对滨江地区非常供水事件的发生，特别是突发性事件如水污染危机、恐怖破坏、地震等，在做好应急供水的同时，还要注重灾险恢复工作。

8. 应急水源地的保护

随着滨江地区干旱的频繁发生，污染等各种危险因素发生几率增多，保护应急水源地的责任也越来越重。世界上许多国家对水源地的保护实行完全封闭式的管理，滨江地区目前应急水源地的保护还处于初级阶段，大多数水源地还处于敞开式或半敞开式的状况，急需开展基础性的调查、研究和管理工作，对如何保护、防治水污染和涵养水土作出全面的规划。

9. 加快立法进程

加快对处理公共危急事件的立法进程，对滨江地区应急供水问题的预防和处理应有充分的法律依据。对应急准备、应急对策、应急机构、应急资金、应急状态终止和善后处理以及物质保证等作出明确的规定，有效地引导政府依法处理供水危机。

10. 应急供水预案的编制

在上述各项工作的基础上，编制翔实、合理可行的应急供水预案，合理安排水资源的应急分配，充分发挥应急水源的最大作用，确保非常供水时期有章可循，快速有效的进行处置，是保证滨江地区稳定发展的重要前提和基础。应急供水预案应具有前瞻性、综合性和权威性，为滨江地区应急供水系统的各项工作提供依据和指导。

全面审视滨江地区的供水安全体系，可以发现供水危机呈现高频次、多领域发生的态势，非传统安全问题成为当前供水安全的主要威胁，突发性灾害事件极易被放大为社会危机。因此建立和完善应急供水系统，已经成为摆在管理者和水务工作者面前一个亟待解决的问题。

7.3 应急供水联动体系

7.3.1 应急准备

1. 技术支持和储备

应急反应突出预警性，坚持“凡事预则立，不预则废”的理念。高效、先进的技术支持和技术贮备可以综合利用现有大量的信息，充分发挥已有信息的效能，为决策者提供一

个平台，提高应急决策水平。

加强滨江地区饮用水源地突发性水污染事故的应急技术储备。饮用水源地的规划、保护、管理及应急技术研究应提前纳入水利科技研究内容。建立应急水信息系统数据库，包括生产和使用危险化学品的企业和重点污染源的资料；可能的危险品和污染物的特性、快速监测方法、安全防护措施和处置技术等。

依托滨江地区现有防汛指挥决策支持系统，积极开展水量、水质自动监测和预警预报系统建设，建立应急指挥决策支持系统，实现信息采集、预警预报、分析处理、决策支持、事件评估等工作的智能化，提高科学应对水污染事件的水平。

2. 预警监测

预警监测是防止和减少突发性水污染事件的第一信息源。

树立风险意识，增强敏感性，高度关注化工企业爆炸事故、船舶碰撞、涉及有毒有害物质运输的突发性事件等信息，根据发生特点、污染特性和是否可能造成饮用水源地污染，知情后及时报告主管部门和上级机关。

依托滨江地区现有水文站网和水文部门、水环境分析监测网络，建立健全突发性水污染事件预警系统。滨江地区水政监察部门定期组织饮用水源地巡查，做好专门记录，发现污染隐患采取整改措施。各水厂加强对取水口附近水源地的巡查，发现问题及时上报；并按照规定的要求，严格做好水厂取水口和出厂水的水质监测；在取水口适当位置，逐步建立水质在线监测系统，对水源水质污染进行预警。

3. 水厂应急深度处理

滨江地区自来水厂目前采用的是常规水处理工艺，即混凝—沉淀—过滤—消毒。这种传统工艺以除去水中的悬浮物和胶体为目的，不能有效去除水中的有机物。国内外的试验研究和生产实践表明：受污染的水源水经过常规处理工艺只能去除水中有机物的20%～30%，且溶解性有机物的存在使常规工艺对原水的浊度去除效果明显下降。如果滨江地区所有的水厂都按深度处理工艺设计，水厂建设和处理成本会大幅度上升，为了保证应急的需要，可以在部分水厂原有传统处理工艺的基础上，建设深度处理设备，采用“预臭氧＋常规处理＋臭氧活性炭”、膜处理等工艺，在水源受到污染时，可以很快使水厂从常规处理变成深度处理，保证安全供水，增加滨江地区的应急供水能力。

4. 饮用水源地保护

对于滨江地区规划的应急备用水源加强保护和管理，确保应急用水要求。

5. 沿江重污染企业的安全防范

滨江地区部分重污染企业为了取水和排水方便，选址江河沿岸，这些企业一旦出现生产事故，极易造成江河水源污染，是滨江地区供水安全的隐患。所以应加强安全防范，把发生水污染的可能降到最低程度，主要措施包括：

（1）企业在设计时充分考虑污水和雨水管道的设置，所有排水系统都应有隔离装置，以防意外。2005年年底，中石油吉林石化分公司的有机污染物主要经该厂的雨水系统排出并流入松花江造成了严重的水污染。

（2）企业设计和建设时，务必做到污水处理设施与生产设施同步进行。

（3）企业的生产过程要有严格的安全控制，杜绝由于操作不当或故意泄漏而造成的水

污染。

（4）企业要制定针对自身突发性事故的应急预案，采取针对自身污染物污染水源的预防措施。

（5）发生事故后，及时和政府相关管理部门沟通，把事故的危害降到最低。

6. 宣传和演习

加强饮用水安全的宣传，普及保障饮用水安全方面的知识，提高公众的应对能力和风险意识。定期组织应急演习，并及时总结，不断完善应急预案。

7.3.2 应急响应

1. 应急监测

滨江地区应急处置指挥部门接到突发性水污染事件报告后，及时组织应急监测。水文及环境部门携带监测设备赶赴现场，在尽可能短的时间内对污染物的种类、浓度、污染范围及可能造成的危害作出判断，争取时间，为污染事件的处理提供依据。事件发生初期，应加密监测频次和取样断面，并实施跟踪监测，随着污染程度的逐步减缓可适当调整监测频次和点位。在继续强化常规监测的基础上，不断加强移动监测能力建设。

确定为重大以上的水污染事件，要实施跟踪调查和监测，预测污染迁移强度、速度和影响范围。特大水污染事件应增加监测频次，直至应急处置指挥部宣布解除应急状态。应急监测工作组应根据不同污染物的性质、浓度、毒理、作用范围提出污染源周围的安全防护距离，确保群众和救援人员的安全。

2. 信息报送

预测并报告污染事件的发展情况和污染物的变化状况，作为水污染事件应急决策的依据。饮用水源地突发性水污染事件信息实行逐级上报，归口处理，同级共享。充分利用电话、网络、传真等现代通信手段，保证突发性水污染事件信息报送渠道畅通、快捷。及时向各级有关部门报告，通知水源地周边及上、下游相关地区的有关市、县防汛调度部门做好应急调度准备。

3. 应急决策

滨江地区应急处置指挥部门根据事件报告及应急监测结果，及时组织会商，必要时邀请有关专家参加，确定事件处置的技术措施，控制污染影响和范围，保护饮用水源地水质安全，启动相应级别的应急预案，研究部署各项应急调度工作，及时向市政府报告。

对于饮用水源地重大水污染事件，公共自来水厂应提前储备水源，并作好启用后备水源的各项准备工作；做好滨江地区各应急备用地表水源工程的水源储备工作；发布突发性水污染事件影响范围内的用水大户限产或限量用水预警方案；通知和发动群众储备饮用水。水污染事故发生后，可能受影响的集中式自来水厂应停止取用污染水源，启用后备水源；同时视水污染影响情况关闭污水团所经的引水涵闸、泵站，控制污染物的扩散。

4. 水资源的应急配置

在滨江地区供水水源严重短缺时，实行控制性供水，建立应急供水秩序。除尽可能保证对社会和国民经济具有重大影响的部门供水外，全面压缩其他部门的需水要求，实行限量定时供水措施。应急供水的优先级别为：首先满足生活用水，其次是副食品生产用水，再次是重点工业用水，最后是农业用水。

5. 灾险恢复工作

供水危机的恢复体系应针对不同情况，明确灾险恢复程序和方法，包括：①减少突发性事件所造成损失的措施，如预警系统、疏散计划等；②采取措施防止污染源的进一步扩大并逐步减轻水体污染；③救援物资的准备，如矿泉水、纯净水等；④水源污染或其他人为破坏事故发生后，妥善保存现场重要痕迹、物证；⑤救治受伤、中毒的工作人员和群众等。

6. 社会动员

只有让公众了解全部信息，把公众作为解决危机的依靠力量，在政府部门和公众之间建立互信机制，积极动员社会力量参与应急处置。

7.3.3 事件后处理

事件应急状态结束后，参与市政府组织的事件调查，开展事件原因调查、分析、损失评估、赔偿补偿方案、责任认定等。

(1) 滨江地区饮用水源地水污染事件警报解除后，根据各级政府和应急处置指挥部的安排，解除水利工程的应急调度，公共自来水厂恢复正常供水。

(2) 总结和评价。对事件发生、发展及可能造成的后期影响、水利部门所采取的应对措施进行定性和定量的总结、分析、评估，对饮用水源地的规划、保护、管理等提出改进建议并提交书面报告。

第 8 章　江阴市水资源合理配置实例分析

江阴市地处长江下游，是典型的滨江地区。江阴市总面积 987.5km²，其中长江水面 56.7km²，沿江洼地是由长江水挟带泥沙沉积并经围垦而成的圩田，属长江三角洲的边缘部分。江阴市境内河港纵横交叉，与周边水系相连，河流密度达 4.98km/km²。下面以江阴市为例，说明水质与水量相结合的水资源合理配置过程。

8.1　水资源条件

8.1.1　水资源量

江阴市当地水资源总量等于地表水水资源量加上地下水水资源不重复量，见表 8.1，水资源可利用总量计算结果见表 8.2。

表 8.1　　江阴市不同水平年的当地水资源总量表

频率（%）	地表水（万 m³）	地下水不重复量		总量（万 m³）
		降水入渗量（万 m³）	长江侧向补给量（万 m³）	
现状年 2004 年	28403.4	9767.2	1391.1	39561.8
丰水年 20	44568.1	12730	1391.1	58689.2
平水年 50	37939.7	10726.5	1391.1	50057.3
中等干旱年 75	25755.1	8890.4	1391.1	36036.7
特殊干旱年 95	20130.5	6557.2	1391.1	28078.8
多年平均（1960～2004 年）	40278.7	11436	1391.1	53105.8

表 8.2　　江阴市不同水平年的当地水资源可利用总量表

频率（%）	当地产流可利用量（万 m³）	地下水资源可开采量（万 m³）	水资源可利用总量（万 m³）
现状年 2004 年	19677.7	2645	22322.7
20	31104.1	2645	33749.1
50	26937.8	2645	29582.8
75	19507.8	2645	22152.8
95	14518.5	2645	17163.5
多年平均（1960～2004 年）	27382.4	2645	30027.4

江阴市水资源的特点是当地水资源量不足，过境水量丰富。本地水资源量不能满足江阴市的需水要求，现状基准年不同频率的可供水量中 80%以上的水量来自于长江，只有

依靠长江客水资源补给，才能满足全市经济发展和生活的需要。江阴市拥有35km长的黄金岸线，长江江阴段多年平均过境水量为9300多亿m^3，水体水质可以达到国家地面水Ⅱ类水质标准。多年来，江阴市沿长江一线兴建了很多引排工程，沿江闸站共有15个，包括13座通江水闸和2座抽水站，沿江闸站总设计引水能力达1161m^3/s。

8.1.2 基准年供需分析

以2004年为基准年，江阴市不同来水频率各种需水量汇总情况见表8.3，可供水量见表8.4。

表8.3　　江阴市基准年不同水平年需水量分项表

频率（%）	农业	第二产业				第三产业	城镇生活	农村生活		生态环境	合计（万m^3）
	内河用水（万m^3）	自来水（万m^3）	长江用水（万m^3）	内河用水（万m^3）	地下水（万m^3）	自来水（万m^3）	自来水（万m^3）	自来水（万m^3）	地下水（万m^3）	内河用水（万m^3）	
20	30842	7697	94203	28595	243	2571	3970	2707	245	8205	179278
50	35916	7697	94203	28595	243	2571	3970	2707	245	8205	184352
75	41910	7697	94203	28595	243	2571	3970	2707	245	8205	190346
95	50051	7697	94203	28595	243	2571	3970	2707	245	8205	198487

表8.4　　江阴市基准年不同水平年可供水量汇总表

频率（%）	企业长江提水量（万m^3）	自来水长江提水量（万m^3）	当地径流可供水量（万m^3）	长江口门引水供水量（万m^3）	地下水提水量（万m^3）	合计（万m^3）
20	94203	16945	31104	36537	488	179278
50	94203	16945	26938	45778	488	184352
75	94203	16945	19508	59202	488	190346
95	94203	16945	14519	72332	488	198487

根据表8.3和表8.4对基准年不同水平年的供、用水情况进行分析，结果表明由于可以从长江取水补充，江阴市不存在水量型缺水问题，但存在水质型缺水问题，即因为水源的水质达不到国家规定的各类使用标准而造成的缺水。

根据江阴市环境监测站提供的2004年江阴市内河水质监测数据，水质为Ⅱ、Ⅲ类的内河断面数占总断面数的6%，Ⅳ类水的断面占2%，Ⅴ类水的断面占10%，劣Ⅴ类水的断面占82%。能够满足一般工业和农业用水要求的Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类水主要集中于沿江河道，所占比例不到10%，可用的高质量水源非常少。

不同用水类型对于水质的要求是不同的。生活用水的水质要求是不低于Ⅲ类，一般工业和农业用水的水质要求是Ⅳ类及以上。

江阴市生活用水和部分一般工业用水由自来水提供，取水水源为长江，水质为Ⅱ～Ⅲ类，能满足水质要求。火电企业的冷却水水质要求不高，尤其是江阴市主要的火电企业都位于长江沿岸，其冷却水水质更好，使用后绝大部分水回到长江，可以被下游用户继续取用，因此火电企业用水基本上不存在水质型缺水。

江阴市农业用水和一般工业内河提水部分，在河网中就近、分散取水。由于江阴市

92%的内河水质为Ⅴ类和劣Ⅴ类，不能满足Ⅳ类水的水质要求，已经没有开发利用的价值，因此这部分存在严重的水质型缺水，造成农业污水灌溉和工业用水净化成本的提高。

从上述分析可以看出，江阴市内河水体污染严重，属于水质型缺水，不仅缺Ⅲ类水，而且也缺Ⅳ类水。过去的无节制使用水资源的方式，造成社会对水的利用超过了水资源的承载能力，经济发展是以浪费资源和破坏生态环境为代价的。与江阴市现代化、工业化、城市化的快速发展进程相比，在水资源的利用与保护方面存在着明显的不协调，水污染造成的水质型缺水问题如果长期得不到有效解决，必然会影响江阴市经济社会的可持续发展。

8.2 江阴市需水预测

8.2.1 用水户分类

2004年江阴市辖16个镇，常住人口156.77万人，在全国县（市）中地区生产总值、财政收入等主要经济指标名列前茅。需水预测以江阴市社会经济发展指标为依据，分析江阴市不同水平年的需水要求。需水预测的用水户分生活、生产和生态环境三大类。各规划水平年为：近期至2010年，中期至2020年，远期至2030年。

由于未来经济社会发展存在诸多不确定因素，不同发展阶段和发展模式对水资源的需求量是不同的，因此分别设定高、中、低3套国民经济发展趋势预测方案。高方案：经济运行环境良好，实行国民经济高速发展战略；中方案：以《江阴市国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》为基础，考虑到经济发展的各种制约因素，采用适度中速发展战略；低方案：实施保守战略，实行低速发展策略。

8.2.2 需水量计算

1. 生活需水量

生活需水量预测结果见表8.5。

表8.5 江阴市总生活需水量表 单位：万m^3

规划水平年	低 方 案	中 方 案	高 方 案
2010	11650	11966	12195
2020	13859	14270	14568
2030	15769	16250	16600

2. 生产需水量

生产需水量包括农业、工业，以及建筑业及第三产业需水，需水量见表8.6。

表8.6 江阴市生产需水量汇总表 单位：万m^3

方案	规划水平年	生产需水量（含火电）			
		$P=20\%$	$P=50\%$	$P=75\%$	$P=95\%$
高方案	2010	262174	266671	271168	278363
	2020	343482	347679	351876	358622
	2030	412734	416631	420529	426824

续表

方案	规划水平年	生产需水量（含火电）			
		$P=20\%$	$P=50\%$	$P=75\%$	$P=95\%$
中方案	2010	261795	266292	270789	277984
	2020	342224	346421	350618	357364
	2030	409534	413431	417329	423625
低方案	2010	260640	265137	269634	276829
	2020	341207	345404	349602	356347
	2030	408692	412589	416487	422782

3. 生态需水量

河流生态环境需水量计算中，河流基本生态环境需水量采用最枯月平均流量法计算，以江阴市多年平均径流量为基础，计算结果为 0.7 亿 m^3/a。补充水面蒸发的生态环境需水量预测结果见表 8.7，计算结果表明当降雨水平在 75%及其以下时才需要考虑这部分由蒸发引起的需水量。

表 8.7　　江阴市补充水面蒸发的生态环境需水预测表　　单位：万 m^3

规划水平年	补充水面蒸发的生态需水量（万 m^3）			
	$P=20\%$	$P=50\%$	$P=75\%$	$P=95\%$
2010	0	0	1670.5	5150.6
2020	0	0	2084.0	5216.1
2030	0	0	2084.0	5216.1

城市绿地系统的生态需水量预测结果见表 8.8，城市环境卫生需水量预测结果见表 8.9。河道内其他生产活动需水包括景观和水上娱乐等，一般不消耗水量，但对水位、流量等有一定的要求，在满足其他功能目标的同时基本上能够自动满足。

表 8.8　　江阴市绿地系统需水预测表

规划水平年	2010 年	2020 年	2030 年
人均绿地面积（m^2）	12	14.4	15.5
需水量（万 m^3）	718	1052	1248

表 8.9　　江阴市城市环境卫生需水预测表

规划水平年	2010 年	2020 年	2030 年
人均道路广场面积（m^2）	13.5	16	19
需水量（万 m^3）	768	1110	1453

汇总以上各分项生态需水量，江阴市各规划水平年生态需水总量计算结果见表 8.10。

表 8.10　　江阴市生态需水量汇总表　　单位：万 m^3

规划水平年	生态需水量			
	$P=20\%$	$P=50\%$	$P=75\%$	$P=95\%$
2010	8486.0	8486.0	10156.5	13636.7
2020	9161.3	9161.3	11245.3	14377.4
2030	9701.4	9701.4	11785.4	14917.5

4. 不同水平年需水量汇总

根据上述需水预测的结果，统计得出不同保证率下各水平年江阴市的需水总量（包括生活、生产和生态需水量），结果见表 8.11。

表 8.11　　江阴市需水预测汇总表　　单位：万 m^3

方案	规划水平年	总需水量（含火电）			
		$P=20\%$	$P=50\%$	$P=75\%$	$P=95\%$
高方案	2010	282855	287352	293519	304194
	2020	367211	371408	377690	387567
	2030	439035	442933	448914	458342
中方案	2010	282247	286744	292912	303587
	2020	365655	369852	376134	386011
	2030	435485	439383	445364	454792
低方案	2010	280776	285273	291441	302116
	2020	364228	368425	374706	384583
	2030	434162	438060	444041	453469

8.3　水资源“量”的配置

江阴市的需水可以分为三类：长江直接取水的自来水需水、长江直接取水的工业企业需水和内河需水，因此水资源供需平衡分析也分成这 3 种类型分别进行。

江阴市自来水供需平衡结果表明各规划水平年自来水需水量均远大于现状自来水可供水量，通过新建或扩建公共自来水厂可以解决供需缺口。第二产业中长江取水企业的供需平衡中，江阴市火电企业发展速度很快，长江取水量很大，这部分的缺水量通过新建或扩建长江提水工程可以解决。内河水资源一次供需平衡分析主要针对江阴市内河取水的水量，平衡计算中的可供水量包括当地径流可利用水量、长江引水量，当地浅层地下水可供水量和中水回用可供水量，相应的需水量包括农业内河提水量、工业内河提水量和生态环境需水量。

2010 年、2020 年和 2030 年，江阴市每年的中水回用量将分别达到 2300 万 m^3、5900 万 m^3 和 6500 万 m^3，这部分水量主要用于城镇绿化用水、道路浇洒用水和水质要求不高的工业用水。

内河取水的水资源平衡分析以沿江闸站的引水量为中心进行平衡计算，推求可供水量中的长江引水量，通过江阴市现有引江闸站的科学、合理调度，充分发挥水利工程的效益，可以实现内河的水资源供需平衡。

综合以上水资源供需分析方案的调整，江阴市高、中、低方案不同规划水平年均达到了水资源量的供需平衡，即可供水量等于需水量，具体数值见表 8.12。

表 8.12　　江阴市各水平年可供水量表　　单位：万 m^3

方案	规划水平年	可供水量（需水量）			
		$P=20\%$	$P=50\%$	$P=75\%$	$P=95\%$
高方案	2010	282855	287352	293519	304194
	2020	367211	371408	377690	387567
	2030	439035	442933	448914	458342
中方案	2010	282247	286744	292912	303587
	2020	365655	369852	376134	386011
	2030	435485	439383	445364	454792
低方案	2010	280776	285273	291441	302116
	2020	364228	368425	374706	384583
	2030	434162	438060	444041	453469

8.4　水资源“质”的协调分析

8.4.1　水域纳污能力的一次平衡分析

江阴市水污染的主要超标项目是 COD_{Cr} 和氨氮，因此选择这两项作为分析因子。按上述水资源平衡配置中各规划水平年的用水情况，江阴市水域纳污能力和污染物入河量平衡分析结果见表 8.13。

表 8.13　　江阴市水域纳污能力及污染物入河量平衡分析表　　单位：t/a

规划期（年）	污染物入河量		水域纳污能力		剩余纳污能力	
	COD_{Cr}	氨氮	COD_{Cr}	氨氮	COD_{Cr}	氨氮
2010	36902.9	3323.3	42146.8	2333.7	5243.9	−989.6
2020	29879.6	3014.0	41014.9	2245.5	11135.3	−768.5
2030	28811.1	2816.3	41014.9	2245.5	12203.8	−570.8

由表 8.13 可以看出，各规划水平年江阴市水域的 COD_{Cr} 纳污能力均大于入河总量，但氨氮纳污能力有很大缺口。2010 年、2020 年和 2030 年分别需要引水 10 亿 m^3/a、8 亿 m^3/a 和 6 亿 m^3/a，使水域氨氮纳污能力分别增加 1000t/a、800t/a 和 600t/a，才能解决水体氨氮超标的问题。

用长江引水来解决水环境问题，是治标不治本的方法，水环境问题从源头治理应全面加强水资源保护，采用多种措施综合治理，有效控制污染源，严格按照江阴市水功能区目

标进行管理。根据江阴市的水资源条件，首先分析江阴市未来用水需求的特点，探讨江阴市水资源合理配置的方法和途径。

氨氮来源分城镇生活、工业、农村生活、农田和畜禽五类，各规划水平年江阴市氨氮入河量的构成比例见表 8.14，从表 8.14 中可以看出，城镇生活产生的氨氮入河量占氨氮总入河量的 40%左右，工业占 40%左右，农村生活、农田和畜禽合计占 20%左右，所以解决水体氨氮超标的问题应主要从城镇生活和工业两方面着手。

表 8.14　　氨氮入河量构成比例表

规划期（年）	入河氨氮量										
	城镇生活		工业		农村生活		农田		畜禽		合计
	数量（t/a）	所占比例（%）	数量（t/a）	所占比例（%）	数量（t/a）	所占比例（%）	数量（t/a）	所占比例（%）	数量（t/a）	所占比例（%）	
2010	1263.8	38.0	1376.8	41.4	85.2	2.6	230.3	6.9	367.2	11.0	3323.3
2020	1112.1	36.9	1239.1	41.1	80.8	2.7	207.2	6.9	374.8	12.4	3014.0
2030	1056.5	37.5	1115.2	39.6	76.4	2.7	186.5	6.6	381.7	13.6	2816.3

8.4.2　控制氨氮超标的措施

1. 城镇生活方面

强化节水。参照国内外城镇生活节水的先进标准，强化节水后，江阴市 2010 年、2020 年、2030 年城镇居民人均综合生活用水量可以降低到 260L/（人·d）、270L/（人·d）、280L/（人·d）；城镇生活用水每年可以节水 1100 万 m^3、1900 万 m^3、2800 万 m^3。

2. 工业方面

严格控制高氨氮污染企业，合理调整工业布局和产业结构，禁止引进高氨氮污染的工业项目，发展用水效率高的高新技术产业。现有的氨氮重污染企业，加快技术改造，积极推行清洁生产工艺，对落后的氨氮排放过高的项目、产品设备实行强制淘汰。

一般工业强化节水，预期各规划水平年，江阴市一般工业用水水平达到国内先进水平。2010 年、2020 年和 2030 年，一般工业用水重复利用率分别达到 80%、85%和 90%；万元工业增加值用水量分别为 39m^3/万元、20m^3/万元和 15m^3/万元；按相关方法预测的 2010 年、2020 年和 2030 年高方案的工业需水量为 38415 万 m^3、39200 万 m^3 和 41355 万 m^3，与原需水量相比，各水平年节水均在 10%以上。

3. 其他

江阴市已投入运行的城市污水处理厂大多是执行二级排放标准或一级 B 标准，即使是达标污水，其氨氮值也远高于Ⅴ类水的氨氮标准限值。因此可以适当提高江阴市污水处理厂和企业的氨氮排放标准，有条件的新建、扩建氨氮处理设备。同时，加大污水处理厂的中水回用力度。

8.4.3　水域纳污能力的二次平衡分析

采取上述措施后，再以氨氮为江阴市河流的污染控制因子，重新计算各规划水平年的氨氮入河量，结果见表 8.15。

表 8.15　　江阴市水域氨氮纳污能力及入河量平衡分析表（节水减污后）　　单位：t/a

规划水平年	氨氮入河量	水域纳污能力	剩余纳污能力
2010	3024.1	2333.7	−690.4
2020	2615.9	2245.5	−370.4
2030	2428.8	2245.5	−183.3

从表 8.15 中可以看出，氨氮入河量出现了不同程度的减少，但是江阴市水域氨氮纳污能力仍有缺口，2010 年、2020 年和 2030 年仍然分别需要引水 7 亿 m^3/a、4 亿 m^3/a 和 2 亿 m^3/a，来解决水体氨氮超标的问题，每年引水量比原方案减少了 3 亿～4 亿 m^3。从环境学角度来说，用干净的水稀释已经污染的水体或污染物，这种方法并不可取，但是由于江阴市经济的高速发展，水体氨氮超标、污染严重，已经严重影响居民的健康和江阴市的整体形象，在产业结构不作大的调整的情况下，若希望达到规定的水功能区水质标准，必须在控制污染源的同时对这部分净化需水量加以考虑。

参 考 文 献

[1] 水利部水利水电规划设计总院. 全国水资源综合规划技术大纲 [Z]，2003：58－63.

[2] 陈基湘，姜学民. 试论自然资源分配的公平性 [J]. 资源科学，1998，20 (3)：40－42.

[3] 张坤民. 可持续发展论 [M]. 北京：中国环境科学出版社，1997.

[4] 冯宝平，张展羽. 区域水资源合理配置研究 [J]. 中国农村水利水电，2004 (4)：33－35.

[5] 李凤霞，高喜明. 我国水资源合理配置研究综述 [J]. 长春工程学院学报（自然科学版），2006，7 (4)：48－50.

[6] 周彤. 污水的零费用脱氮 [J]. 给水排水，2000，26 (2)：37－39.

[7] 汪大翚. 工业废水中专项污染物处理手册 [M]. 北京：化学工业出版社，2000.

[8] 冯旭东，王葳，董黎明等. 高浓度氨氮废水处理技术 [J]. 北京工商大学学报（自然科学版），2004，22 (2)：5－8.

[9] 张翠粉，戴建军. 氨氮废水物化法处理技术探讨 [J]. 污染防治技术，2006，19 (3)：19－20.

[10] 吴百力. 高浓度氨氮废水处理技术及其发展趋势 [J]. 环境保护科学，2006，32 (2)：22－24.

[11] 中国工程院“21 世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告 [J]. 中国工程科学，2002 (28)：1－17.

[12] 汤洁，佘孝云. 生态环境需水的理论和方法研究进展 [J]. 地理科学，2005，25 (3)：367－373.

[13] 陈家琦，王浩，杨小柳. 水资源学 [M]. 北京：科学出版社，2002.

[14] Daniel Cassie. Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada [J]. Canadian Journal of Civil Engineering，1995，22 (2)：235－246.

[15] Gleick P H，Waterincrisis. Paths to sustainable water use [J]. Ecological Applications，1998，8 (3)：571－579.

[16] Dakova Sn，Uzunov Y，Mandadjiev D. Low flow－the rivers ecosystem impacted by flow abstraction in a large post mining area [J]. Landscape and Planning，2000，51 (2)：165－176.

[17] 汤奇成. 绿洲的发展和水资源的合理利用 [J]. 干旱区资源与环境，1995，9 (3)：107－112.

[18] 刘昌明. 关于生态需水量的概念和重要性 [J]. 科学对社会的影响，2002 (2)：25－29.

[19] 李丽娟，郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算 [J]. 地理学报，2000，55 (4)：495－500.

[20] 左其亭. 干旱半干旱地区植被生态用水计算 [J]. 水土保持学报，2002，16 (3)：114－117.
[21] 王西琴，张远，等. 河道生态及环境需水理论探讨 [J]. 自然资源学报，2003，18 (2)：240－246.
[22] 胡习英，陈南祥. 城市生态环境需水量计算方法与应用 [J]. 人民黄河，2006，28 (2)：48－50.
[23] 李大勇，卞戈亚，等. 太湖平原河网生态环境需水量组成及计算方法研究 [J]. 河海大学学报(自然科学版)，2005，33 (3)：246－250.
[24] 李英，孙以三. 长江流域湿润地区生态需水探讨 [J]. 中国水利，2005 (6)：18－20.
[25] 韩曾萃，尤爱菊，徐有成. 强潮河口环境和生态需水及其计算方法 [J]. 水利学报，2006，37 (4)：395－402.
[26] 肖芳，刘静玲，等. 城市湖泊生态环境需水量计算——以北京市六海为例 [J]. 水科学进展，2004，15 (6)：781－786.
[27] 栾兆擎，邓伟，朱宝光，等. 洪河国家级自然保护区湿地生态环境需水初探 [J]. 干旱区资源与环境，2004，18 (1)：59－63.
[28] 李鸿，龙平沅，等. 不同类型生态环境需水量计算方法的探讨 [J]. 红水河，2005，24 (4)：100－103.
[29] 许有鹏. 城市水资源与水环境 [M]. 贵阳：贵阳人民出版社，2003.
[30] 赵西宁，吴普特，王万忠，等. 生态环境需水研究进展 [J]. 水科学进展，2005，16 (4)：617－622.

第3编　滨江地区水环境保护研究

第9章　滨江区域水环境数学模型

9.1　河道及河网区水环境数学模型

9.1.1　河道水环境数学模型

通常一条中小河流的较长河段，其横向和垂向的污染物浓度梯度可以忽略。当水深较浅，河面较窄，河水的纵向流速远远大于横向流速和垂向流速，起主导扩散作用的是污染物质的纵向浓度梯度时，具有上述特点的中小河流可视为一维河流。

污染物质在一维河流中的运动变化规律满足对流扩散方程。一维河流水质模型基本方程的通式为：

$$\frac{\partial C}{\partial t}=-u\frac{\partial C}{\partial X}+D\frac{\partial^2 C}{\partial X^2}-kC \tag{9.1}$$

式中　u——断面平均流速；

C——某组分子在 x 断面 t 时刻的浓度；

D——弥散系数；

$-kC=S$（k 为降解系数，与污染物性质有关）——各种源和汇的代数和。

实际中，一维稳态模型应用最多。应用一维稳态模型时，根据水文及排污条件可作一定简化。若不受潮汐影响，遇紊流及分散作用不大时，则方程简化为：

$$u\frac{\partial C}{\partial X}=-kC \tag{9.2}$$

得方程解：

$$C(x)=C_0\exp\left(-\frac{k}{u}x\right) \tag{9.3}$$

对于二维河流水质模型，其稳态水环境数学模型计算公式为：

$$c(x,y)=\exp\left(-k\frac{x}{86400u}\right)\left\{c_0+\frac{C_pQ_p}{H(\pi M_y x u)^{1/2}}\left[\exp\left(-\frac{uy^2}{4M_y x}\right)+\exp\left(-\frac{u(2B-y)^2}{4M_y x}\right)\right]\right\}\frac{Q_u}{Q_d} \tag{9.4}$$

式中　x——沿河道方向变量；

y——沿河宽方向变量；

C_0——排污口上游污染物质浓度；

Q_p——排污口废水排放量；

C_p——排污口废水排放浓度；

H——平均水深；

M_y——横向混合系数；

Q_u——上游流量；

Q_d——下游流量。

M_y 的计算公式为：

$$M_y = (0.058H + 0.0065B)(ghI)^{1/2} \tag{9.5}$$

式中 B——河道水面宽度；

g——重力加速度；

I——河道坡降。

9.1.2 河网区水环境数学模型

9.1.2.1 水量水质数学模型

1. 水量数学模型

（1）基本方程。水量计算的微分方程是建立在质量和动量守恒定律基础上的圣维南方程组，以流量 $Q(x, t)$ 和水位 $Z(x, t)$ 为未知变量，并补充考虑了漫滩和旁侧入流的完全形式圣维南方程组为：

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Q}{\partial x} + B_T \dfrac{\partial Z}{\partial t} = q & (9.6) \\ \dfrac{\partial Q}{\partial t} + \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{Q^2}{A}\right) + gA \dfrac{\partial Z}{\partial x} + gA \dfrac{Q|Q|}{K^2} + \dfrac{Q}{A}q = 0 & (9.7) \end{cases}$$

式中 Z——水位；

Q——流量；

K——流量模数；

q——单位河长旁侧入流；

A——主槽过水断面面积；

g——重力加速度；

x——沿水流方向距离；

t——时间；

B_T——调蓄宽度，指包括滩地在内的全部河宽。

圣维南方程组属于二元一阶双曲型拟线性偏微分方程组，采用 Preissman 四点隐式差分格式离散方程组。

（2）河网节点连接条件。水流运动在河网各节点上应满足质量守恒及能量守恒，即满足以下两个连接条件：质量、能量守恒条件。

质量守恒条件：也称为流量连接条件，即进出某一节点的流量与该节点内水量蓄量的增减相平衡，定量表示为：

$$\sum_{i=1}^{m} Q_i = (\Omega_K^{j+1} - \Omega_K^j)/\Delta t \tag{9.8}$$

式中 K——节点编号；

m——流入（流出）第 K 个节点的河道数量；

Ω_K——节点蓄量；

Q_i——第 i 条河道流入节点的流量。

若节点汇合区容积与子河段容积相比可忽略不计，则此节点称为无调蓄节点，否则称为调蓄节点。对于无调蓄节点，方程可简化为：

$$\sum_{i=1}^{m} Q_i = 0 \tag{9.9}$$

能量守恒条件：不计节点汇合处的能量损失，节点水位与汇集于节点的各河道相邻断面的水位之间满足能量守恒约束——伯努利方程。对于一个有 m 个相邻河道的节点可近似表示为：

$$Z_i = Z_j \ , \ i=1, \ 2, \cdots, m \ , \ j=1, \ 2, \cdots, m \tag{9.10}$$

（3）边界条件。有两种边界条件，即水位边界和流量边界，其方程分别为：

水位边界：
$$Z_i = Z_i(t) \tag{9.11}$$

流量边界：
$$Q_i = Q_i(t) \tag{9.12}$$

（4）数值求解。三级联合解法求解平原河网水力特性的基本思路可概括为："单一河道—连接节点—单一河道"。即先将各单一河道划分为若干计算断面，在计算断面上对圣维南方程组进行有限差分运算，得单一河道方程——即以各断面水位及流量为自变量的差分方程组；然后根据节点连接条件辅以边界条件形成封闭的各节点水位方程，求解此方程组得各节点水位，再将各节点水位回代至单一河道方程，最终求得各单一河道各断面水位及流量。该方法求解效率较高，因而得到广泛的应用，成为求解河网水力特性的常用方法。

2. 水质数学模型

描述河网中污染物浓度时空变化过程宜用带源项的一维对流扩散方程，基本方程如下：

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(AE_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + S_c - S = 0 \tag{9.13}$$

节点质量平衡方程。对于每一个节点，都满足质量平衡方程：

$$\sum_{I=1}^{NI} (QC)_{I,j} = (C\Omega)_j \left(\frac{dZ}{dt}\right)_j \tag{9.14}$$

式中 Q、Z——流量及水位；

A——河道面积；

E_x——纵向分散系数；

C——水流输送的物质浓度；

Ω——河道叉点——节点的水面面积；

j——节点编号；

I——与节点 j 相连接的河道编号；

S_c——与输送物质浓度有关的衰减项，例如可写为 $S_c = K_d AC$；K_d 为衰减因子；

S——外部的源或汇项。

模型求解：采用数值求解，将微分方程用隐式差分迎风格式离散后进行求解，得出各节点及断面浓度值。

9.1.2.2 河网概化

河网概化主要是减少河道数量，把大量对水力计算影响不大的小河道合并，概化成若干条假想的河道，并将天然河道的不规则断面概化成规则的梯形断面。在概化的过程中，不强求河道全线采用同一个标准断面，可以根据实际情况分段进行概化，同时在河道交叉处设立节点，节点可以是一个点，也可以是一个面。河网概化是整个水力计算的关键，必须掌握以下几条原则：

(1) 为了保持原有河道水面比降，河线总长度尽可能不要改变。

(2) 概化前后的河道流量模数 K 要基本一致，即 $K_{概后}=K_{概前}$。

(3) 结合水文站网布局设立若干条控制线，以便验证概化河网的合理性，要求控制线所切的各河道断面流量在相同的水位条件下基本相等，即 $Q_{概后}=Q_{概前}$。

9.1.2.3 参数率定与验证

根据调水实验的监测结果，对模型参数进行率定。利用实测数据进行计算，调整各参数，使各监测点的水量水质模型计算值和实测值达到基本吻合。水位边界条件采用开闸引水前的实测值，率定得到河道糙率值。水质边界条件采用边界断面各时段水质值，率定得到水质降解系数。

当各断面的水量水质模型计算值与实测值吻合较好，相对误差控制在 20%以内，说明该模型可用于实验区域水量水质的变化过程。对于该实验区域的水利规划，可用该模型进行计算分析，为该河网区的引水调度提供了技术保证。

9.2 水体的水流水质数学模型

水流水质模拟采用二维模型。二维水流水质耦合模型则用于模拟水体污染物输运扩散过程及江段各排污口的污染浓度和污染带的范围、大小。

9.2.1 二维水流水质耦合模型概述

模型应用守恒的二维非恒定流浅水方程组描述水体水流流动，并用二维对流—扩散方程描述污染物的输运扩散。应用有限体积法及黎曼近似解对方程组逐时段、逐单元进行数值求解，从而模拟出水体的水流过程和相应的污染物输运扩散过程。为此，首先根据计算区域的天然地形并考虑已建或拟建水工建筑物及排污口的位置，用无结构网格使计算区域离散化。然后逐时段地用有限体积法对每一单元建立水量、动量和浓度平衡，确保其守恒性，用黎曼近似解计算跨单元的水量、动量和浓度的法向数值通量，保证计算精度。

9.2.2 二维浅水水流水质耦合方程

二维浅水水流方程和对流—扩散方程的守恒形式可表达为：

$$\frac{\partial q}{\partial t}+\frac{\partial f(q)}{\partial x}+\frac{\partial g(q)}{\partial y}=b(q) \tag{9.15}$$

式中 q—— 等于$[h,hu,hv,hC]^T$，为守恒物理量；

$f(q)$—— 等于$\left[hu,hu^2+\frac{gh^2}{2},huv,huC\right]^T$，为 x 向通量；

$g(q)$——等于$\left[hv, huv, hv^2+\frac{gh^2}{2}, hvC\right]^T$，为 y 向通量，h 这水深，u 和 v 分别为 x 和 y 向垂线平均水平流速分量，C 为污染物垂线平均浓度，g 是重力加速度。

源（或汇）项 b（q）为：

$$b(q)=[b_1, b_2, b_3, b_4]^T \tag{9.16}$$

其中

$$\begin{cases} b_1 = 0 \\ b_2 = gh(S_{0x}-S_{fx}) \\ b_3 = gh(S_{0y}-S_{fy}) \\ b_4 = \nabla[D_i \nabla(hC)] \end{cases} \tag{9.17}$$

式中 S_{0x}、S_{fx}——x 向的水底底坡和摩阻底坡；

S_{0y}、S_{fy}——y 向的水底底坡和摩阻底坡；

D_i——扩散系数；

∇——梯度算子，$\nabla \cdot \nabla = \nabla^2$ 是 Laplace 算子。

9.2.3 有限体积法

对于任意单元 Ω，其边界为 $\partial\Omega$，通过积分方程式（9.15）并利用散度定理可得到有限体积法（FVM）的基本方程：

$$\iint_{\Omega} q_t \mathrm{d}\omega = -\int_{\partial\Omega} F(q) n \mathrm{d}L + \iint_{\Omega} b(q)\mathrm{d}\omega \tag{9.18}$$

式中 n——单元边界 $\partial\Omega$ 的外法向单位向量；

$\mathrm{d}\omega$ 和 $\mathrm{d}L$——面积分和线积分微元；

F（q）n——法向数值通量，$F(q)=[f(q), g(q)]^T$。

式（9.18）中除扩散通量项外，双重积分可表达成 $A \cdot q_t$ 和 $b_*(q)$ 的形式，A 为单元 Ω 的面积。利用散度定理，扩散通量项可表达为 $\sum D_i (\nabla hC)_n L$，$(\nabla hC)_n$ 为相邻单元法向 hC 梯度。FVM 基本方程的最终形式为：

$$A\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = -\sum_{j=1}^{m} F_n^j(q) L^j + b_*(q) \tag{9.19}$$

其中 $b_*(q) = (Ab_1, Ab_2, Ab_3, \sum D_i (\nabla hC)_n L^j + S - AKhC)^T$

式中 m——单元边总数；

L^j——单元边 j 的长度；

K——某一污染物的综合降解系数。

单元边法向通量 $F_n^j(q)$ 简记为 $F_n(q)$，

$$F_n(q) = \cos\Phi f(q) + \sin\Phi g(q) \tag{9.20}$$

式中 Φ——法向向量 n 与 x 轴的夹角。

根据通量向量 $f(q)$ 和 $g(q)$ 的旋转不变性，有

$$F_n(q) = T(\Phi)^{-1} f(\bar{q}) \tag{9.21}$$

逆变换矩阵 $T(\Phi)^{-1}$ 为

$$T(\Phi)^{-1}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \cos\Phi & -\sin\Phi & 0\\ 0 & \sin\Phi & \cos\Phi & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \tag{9.22}$$

将式（9.21）和式（9.22）代入式（9.20），FVM 方程表达为

$$A\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}=-\sum_{j=1}^{m}T(\Phi)^{-1}f(\bar{q})L^{j}+b.(q) \tag{9.23}$$

其中，$\bar{q}=T(\Phi)q$，$T(\Phi)$ 为旋转变换矩阵

$$T(\Phi)=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \cos\Phi & \sin\Phi & 0\\ 0 & -\sin\Phi & \cos\Phi & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

由式（9.23）可见，问题归结为如何确定法向通量 $f(\bar{q})$，而 $f(\bar{q})$ 可通过解局部一维黎曼问题求得。

9.2.4 边界条件

以上法向数值通量的计算方法只适用于计算域内部单元界面。当单元边为计算域的边界或为物理边界（如工程建筑物）时，数值通量计算就变成了边界黎曼问题。这种条件下，q_L 为计算域内已知状态，而 q_R 是未知状态。一般可通过根据局部流态适当选定的输出特征的相容关系和指定边界条件确定未知状态。

对于缓流开边界，水流边界条件可以为：

（1）当给定水位时，h_R 即已知，则可由公式

$$u_R=u_L+2\sqrt{g}(\sqrt{u_L}-\sqrt{u_R}) \tag{9.24}$$

直接求得 u_R。

（2）当单宽流量 Q_R 已知时，由 $Q_R=h_Ru_R$ 与式（9.24）联解可得 h_R 和 u_R。

（3）已知边界的水深～单宽流量关系时，可由此关系式与式（9.24）联解求得 h_R 和 u_R。

对于污染物输移扩散，可给定两种边界条件：浓度时间序列或 $C_R=C_L$。

9.2.5 二维水流水质耦合模型率定

1. 二维模拟区域概化

区域网格的划分主要考虑佩克莱特（Peclet）数、Courant 数和网格比等二维水流水质模拟稳定性条件。

2. 糙率选取

根据二维模拟计算域对应的河段糙率，并综合考虑地形、水生植物等其他因素的影响，分别确定二维模拟区边滩与主槽中各单元的初始糙率。个别有芦苇等植物的江心洲糙率值可达 0.04 左右。

3. 模型水质参数选择

（1）紊动扩散系数。根据泰勒的理论，紊动扩散系数表达式可写成

$$E_x = \alpha h \sqrt{ghI} \tag{9.25}$$

式中 E_x——紊动扩散系数，m^2/s；

I——水力坡降；

α——经验系数；

h——垂线平均水深；

g——重力加速度。

在实际运用中，根据实测资料对以上经验公式求得的系数作必要的修正。

（2）污染物降解系数。COD 衰减系数 K_C 根据有关经验公式确定，并由实测资料予以改正。

根据国外经验，对于一般河流，BOD 降解系数可取范围为 0.1～4.0/d。此外，国内经验表明，COD 的降解变化规律与 BOD 类似。

4. 计算时段、边界条件和初值选取

（1）计算时段。由于二维水质耦合模型采用的是显式算法，计算步长的选择主要考虑计算稳定性和计算精度的需要，根据所划分网格单元大小，考虑水流和水质的不同计算特征，为节省计算时间，各江段水流模拟计算时段范围为 0.5～2.0s，而水质计算步长为 12～36s，即若干次水流模拟后进行一次水质模拟。

（2）边界条件。各计算区域的上、下边界均为给定水位，水位根据实测资料由一维水流模型计算提供；各污染物浓度过程线则给出在上边界；同时输入计算区域内各污染源点实测的排污浓度和排污流量或污染负荷量过程。

（3）初值选取。各计算域内单元初始水位可取为下边界相应水位，单元内水体流速初始值设为均匀的较低流速，各单元内初始污染物浓度可取相应河段的背景浓度或根据水质监测值内插。

5. 二维水质耦合模型验证

为了考查二维水质耦合模型的可靠性、单元概化处理的合适性、模型参数选择的适当性并考虑满足水质的要求，应用枯水期水文资料、流速监测资料及同期卫星图像资料对水污染带范围大小进行检验。一般来说，主航道流速大于浅滩流速，江心洲流速很小。验证后模型可用于模拟区域内水流演变和污染物输移降解过程以及污染带影响范围预测。

9.3 湖泊及水库富营养化模型

自然水体的富营养化主要是由于水体中接纳过量的营养盐（如氮、磷等），导致浮游植物大量生长繁殖的过程。由于富营养化模型能够将理论分析与实验结果有机地结合起来并应用到具体的湖泊之中，无疑成为研究湖泊富营养化的有力工具。当今常用的三类富营养化模型为单一营养物质负荷模型，浮游植物与营养盐相关模型和生态动力学模型。

9.3.1 单一营养物质负荷模型

引起富营养化的物质主要是碳、氮、磷，在正常条件下，淡水环境中存在的碳、氮、磷的比率为 106∶16∶1，根据 Liebig 的最小生长定律可以认为氮、磷是富营养化形成的限制物质，其中磷是绝大多数湖泊和水库富营养化形成的最关键的限制物质。在 20 世纪 70 年代，湖泊学家们通过建立简单的磷负荷模型，评价、预测湖泊水体的营养状态。这

类模型的典型代表是加拿大湖泊专家 Vollenweider 提出的 Vollenweider 模型。Vollenweider 模型假定，湖泊中随时间而变化的总磷浓度值等于单位容积内输入的磷减去输出的磷及其在湖内沉积的磷，即

$$H\frac{\partial P(t)}{\partial t}=L_s(t)-V_sP(t)q_sP(t) \tag{9.26}$$

式中 H——湖泊平均水深，H=体积/表面积，m；

P（t）——t 时刻实际水体中磷的质量浓度，mg/m^3；

L_s——单位面积输入湖泊的总磷负荷，mg/（m^2·a）；

V_s——沉降速度，m/a；

q_s——单位表面积的出流量，m/a。

单一营养盐模型具有模型简单、使用方便等优点，营养盐循环的深入研究有利于全面细致地模拟水体的富营养化。但是它也有自身难以克服的缺点：①只把一种营养盐（如磷）视为限制性营养元素，不能模拟水体中两种营养盐含量相当的情况；②难以反映水体中多种养分的相互影响及其对生态系统的综合影响；③不能反映湖泊生态系统的动态发展过程等。

9.3.2 浮游植物与营养盐相关模型

浮游植物大量繁殖是湖泊及水库富营养化的主要表现形式，而它要靠吸收和利用水中营养盐而生长，因此，直接模拟浮游植物的繁殖和营养盐之间的关系，对于预测水体的富营养化具有重要意义。目前，浮游植物与营养盐相关模型主要有 3 种：①藻类生物量与磷负荷量之间的相关经验模型；②使用限制因子假定来模拟浮游植物的生长；③根据光合作用的相关因素来估算浮游植物的初级生产力。

1. 藻类生物量与磷负荷量之间的相关经验模型

在建立的一系列藻类生物量与营养盐负荷量之间的相关经验模型中，比较典型的有：

Bartsch 和 Gakatatter：$\lg Chla=0.807\lg P-0.194$ (9.27)

Rast 和 Lee：$\lg Chla=0.76\lg P-0.259$ (9.28)

$\lg H_t=-0.437\lg Chla+0.803$ (9.29)

Dillon 和 rigler：$\lg Chla=1.449\lg P_s-1.136$ (9.30)

式中 $Chla$——叶绿素 a 的浓度；

P——总磷浓度；

P_s——夏季总磷浓度；

H_t——水体透明度。

这类经验模型简单直观，使用方便，但是它们都有混合均匀、稳态、限制营养物质唯一的假定，提供的信息量少，而且不能反应藻类生长的机理。

2. 使用限制因子假定来模拟浮游植物的生长

在浮游植物动态模拟中，Monod 方程和 Droop 方程是两个基本的动力学方程，它们将营养盐可利用性与微型生物生长直接联系起来。Monod 方程表达了稳态状况、营养盐限制条件下藻类生长速率与细胞外部营养盐之间的关系。该模型未考虑营养盐过度吸收现象，也未考虑营养盐和生物的时空异质性，所以未完善地表达出藻类动态变化的驱动机

理。Droop 认识到营养盐过度吸收的重要性，将藻类生长速率与细胞内部营养库大小或细胞营养储额联系起来，建立了 Droop 模型，这个模型使用于多数限制性营养盐条件，但不能估计外部营养盐的影响，在非限制营养盐条件下不成立。

3. 估算浮游植物的初级生产力

浮游植物的初级生产力是湖泊营养状况的主要评价指标，有国外学者通过不断测定水体中溶解氧的含量来估计水体的初级净生产力。Chen 利用 M—M 方程建立了浮游植物生长与环境因子模型，即生物—光学模式。这类模型的研究对诸影响因素的作用机理的了解有重要作用，为生态动力学模型的建立和应用打下了基础。但由于浮游植物的动态变化是自身影响因素与外部驱动因素共同作用的结果，所以单一的浮游植物与营养盐相关模型不可能全面模拟浮游植物的动态变化。

9.3.3 生态动力学模型

生态动力学模型以水动力学为理论依据，以对流—扩散方程为基础建立模型。模型一般包括 3 个营养级（浮游植物，浮游动物和鱼）以及各元素（如碳、磷、氮、硅）有关物理、化学与生物变化过程。在一般情况下，这一变化过程可以磷循环子模型、氮循环子模型和碳循环子模型等来描述。生态动力学模型始于 Chen 与 Ditoro 开发的简单水质动力模型。目前使用十分广泛的生态动力学应用模型是 WASP，以 WASP5 使用最为广泛，其模块 EUTRO5 主要模拟了溶解氧（DO）、碳生物化学需氧量（CBOD）、营养物质和浮游植物等因子。我国学者围绕太湖、滇池、东湖在此方面也做了大量的工作。模型可以针对研究水体的富营养化状况和水体动力学特性等，充分应用实测数据和以往的研究经验，建立相对简单、实用的模型，对同等类型水体的富营养化研究有很好的借鉴作用。当然，这类模型的通用性比较差，只能在小范围内应用。综合性大型生态动力学模型和针对独特研究对象的中小型生态动力学各有优势，两者的发展，互补长短，有利于加深对湖泊水体中所发生的动态过程的认识，有利于生态动力学模型进一步完善。

第10章　水体纳污能力计算

水域纳污能力是水体在规定的环境目标下所能容纳的污染物的最大负荷，其大小与水体特征、水质目标及污染物特性有关。水域纳污能力的主要影响因子为水环境功能区划、水文设计条件、水质降解参数。

水域纳污能力的计算结果可用于水污染物总量控制，是总量控制的基础。中国的水域纳污能力研究是从可降解有机污染物开始的，从保护和管理水环境质量的目标出发，重点研究对水环境威胁最大的主要污染物在水环境中的行为，定量计算水体可受纳的污染负荷量，以便合理利用和扩大水域纳污能力，提高水体自净能力，减少污水处理费用。

10.1　水环境功能区划

《中华人民共和国水法》第32条规定："国务院水行政主管部门会同国务院环境保护主管部门、有关部门和有关省、自治区、直辖市人民政府，按照流域综合规划、水资源保护规划和经济社会发展要求，拟定国家确定的重要江河、湖泊的水功能区划，报国务院批准"，"其他江河、湖泊的水功能区划由县级以上人民政府水行政主管部门会同同级人民政府环境保护行政主管部门和有关部门拟定，报同级人民政府或其授权的部门批准"。

《中华人民共和国水污染防治法》第12条规定："县级以上人民政府可以对风景名胜区水体、重要渔业水体和其他具有特殊经济文化价值的水体，划定保护区，并采取措施，保证保护区的水质符合规定用途的水质标准"。

我国GB 3838—2002《地表水环境质量标准》也规定，依据地表水水域环境功能和保护目标，按功能高低依次划分为五类。地表水功能（水环境功能）类别划分是正确执行地表水环境质量标准和污水综合排放标准的前提，是进行水环境综合整治、实行排放水污染物许可证制度和总量控制的基础，也是对建设项目进行管理的依据。

10.1.1　划分范围

流域的干流、一级支流，重要的跨省、跨市河流以及边界水污染纠纷较大的河流全部纳入划分范围；对城镇的主要饮用水水源地、工业用水、农业灌溉用水水源地、重要的鱼类洄游场地及流经较大城镇，大、中型工矿企业区的水体污染严重且具有较高功能的水域纳入划分范围；对二级支流及市内骨干河流以及一般渔业和景观娱乐场所的用水水域一般取1.5万地图上能标注的水域纳入划分范围。

10.1.2　划分原则

（1）可持续利用原则。功能区划与水资源利用规划及经济社会发展规划紧密结合，根据水资源的可再生能力和自然承受能力，力求适应经济社会发展以及实施可持续发展战略对水资源保护的要求，为科学合理利用水资源留有余地，促进经济社会和生态环境协调

发展。

（2）统筹兼顾、突出重点原则。功能区划以流域、水系为单元，统筹兼顾河流上下游、左右岸不同水域以及经济社会发展规划对水域功能的要求；重点突出流域、区域水资源综合开发利用和水污染防治，达到水资源开发利用与保护并重；集中饮用水水源地、重要供水水源地、自然保护区等为优先重点保护对象。

（3）前瞻性原则。保护现状水源水质较好的水库、江河干流和大型跨流域调水线路，为未来经济社会发展的需求留作将来高水质要求的供水水源。

（4）水质、水量并重，合理利用水域纳污能力原则。在进行功能区划分时，既考虑水资源开发利用对水质的要求，又考虑河流、湖泊、水库的水文特征，合理利用水域纳污能力，保证功能区达到水质目标。既充分保护水资源，又适度利用水域纳污能力。

（5）便于管理、实用可行原则。河流、湖泊功能区的起讫界限尽可能与行政区界一致，便于行政区域管理；其相应水质目标由水域第一主导功能确定。

（6）不低于现状水质和不同功能兼顾原则。水质目标规划水平年确定为2010年和2020年，当水域现状水质优于水功能要求时，规划水平年的水质目标不低于现状水域水质。同处上下游相邻两功能区水质存在差异时，允许上下游间存在过渡区，但上游过渡区讫止断面的水质必须达到下游河段起始断面的水质目标要求。

（7）允许点源排污口附近存在混合区原则。混合区应不影响周围最近相邻水域的水质。混合区范围由上级水域管理单位的政府批文或者在建设项目环境影响报告书批复文件中予以确认。

10.1.3 划分结果

划分结果参见各地《地表水功能（水环境功能）类别划分表》，结果中有计算水域纳污能力需要的水质目标 C_s。

10.2 设计水文条件的选取

1. 设计流量

水域的纳污能力是动态的，不同的水平年、不同的保证率有不同的纳污能力。在纳污能力计算中，设计流量的大小对纳污能力的计算结果影响很大，其合理性直接影响功能区水质目标的可达性及经济的合理性。

为了反映水文年际周期变化及其中长期发展趋势，计算取近10年的年最枯月平均流量值作为流量资料系列。设计保证率的取值直接影响计算结果的保证程度，保证率越高则越安全，治理付出的代价就越大。参照GB 3839—83《制订地方水污染物排放标准的技术原则与方法》，设计流量选用保证率为90%的最枯月平均流量。无水文资料的河段根据河道的实际情况用面积类比或按上下游断面集水面积内插。

2. 河段长度

一般河道采用实际长度，对于部分输水河道，在确保输水通道达到目标水质的前提下，考虑到河道的水污染现状，为有效利用水体纳污能力，允许部分河段接纳污水，进行纳污能力计算。

3. 河段平均流速

对有实测流量流速资料的断面，采用该断面的设计流速；对没有实测流量流速资料的河段，借用附近区域的流量流速关系进行分析后确定。

10.3 水质降解系数确定方法

10.3.1 室内实验法

1. 采样断面的确定

选择不同类型（河宽、流速、污染程度）的水体进行野外实验法进行水质降解系数确定，进行3个不同时期水质降解系数值的确定。

2. 实验项目与实验方法

（1）根据参数的求解方法，每个水样相关的实验项目有：COD_{Mn}、NH_3-N、NO_3-N、NO_2-N等。

（2）实验所有的水样保存在20℃恒温条件，每天测定1次，连续测定20d。

3. 降解系数的确定

（1）基本方法。若污染物的反应接近于一级动力学反应，其反应速率与其相应时刻剩余的有机物的浓度成正比，即

$$\frac{dL}{dt}=-K_1L \tag{10.1}$$

解微分方程可得：

$$L=L_0\exp(-K_1t) \tag{10.2}$$

式中 L_0——当$t=0$时L的值；

K_1——降解系数，$[T^{-1}]$。

一般可选用最小二乘法、图解法和两点法等方法对实验数据进行计算处理得降解系数K_1的值。利用式（10.3）分别计算出污染物降解系数。

$$K=\frac{v}{x}\ln\frac{C_a}{C_b} \tag{10.3}$$

（2）COD_{Mn}的降解系数求解。对COD_{Mn}实验测定数据进行整理，作出COD_{Mn}浓度和时间的关系曲线图，逐个删除明显有误和离群的数据，使剩余的数据线性相关性接近或超过0.9，用最小二乘法求解COD_{Mn}降解系数。

（3）氨氮的降解系数求解。对氨氮实验测定数据进行整理，和COD_{Mn}降解系数的求解类似，作出氨氮浓度和时间的关系曲线图，逐个删除明显有误和离群的数据，使剩余的数据线性相关性接近或超过0.9，用最小二乘法求解氨氮降解系数。

（4）COD_{Mn}与COD_{Cr}的比例关系。COD_{Cr}和COD_{Mn}是采用两种不同的氧化剂在各自的氧化条件下测定的。COD_{Cr}系在9mol/L硫酸介质下于419K（146℃）时进行反应的，经计算此时的条件电位为1.55V；而COD_{Mn}系在0.05mol/L硫酸介质下于370K（97℃）时进行反应的，经计算其条件电位为1.45V。由此可见，必定有一部分物质不能在COD_{Mn}法中被氧化而可在COD_{Cr}法中被氧化，故COD_{Cr}大于COD_{Mn}。由此可见，对于线性回归方程$COD_{Cr}=KCOD_{Mn}+b$：一般来说b大于0，它表示可被COD_{Cr}法氧化而不被COD_{Mn}法

氧化的那一部分物质的 COD_{Cr} 值，偶有 b 小于 0 的情况，多系测定误差所致。回归系数 K 反应水样中的还原性物质用两种不同方法测定时，每单位 COD_{Mn} 值引起的 COD_{Cr} 的变化。一般来说，K 的取值为 1.5～4。对于 K 与 b 值较小的水样，COD_{Cr} 与 COD_{Mn} 间具有较好的线性相关关系；但对于 K 与 b 值较高的水样，有相当一部分的还原物质不易被 COD_{Mn} 氧化，而可被 COD_{Cr} 氧化，有一部分物质处于可被 COD_{Mn} 氧化的边缘，只要氧化条件略有变化，就会得出不同的 COD_{Mn}，故显得相关关系较差。

利用 COD_{Mn} 与 COD_{Cr} 的同步实验结果建立 COD_{Mn} 与 COD_{Cr} 的比例关系。

10.3.2 模型率定法

1. 河网区水体

充分利用现有资料及条件，对河网区水体的水质降解系数进行模型率定，率定时的水文、水质、污染源要采用同步监测资料。

2. 一般河道水体

选择若干代表性河道（河宽、流速、污染程度具有代表性的河道）开展一般河道水体的水质降解系数率定。初步考虑在淮河流域选取两条河道进行水质降解系数的模型法率定工作。

选择模型法进行水质降解系数率定时，要选择河道顺直、水流稳定、中间无支流和无排污口汇入的河段，分别在河段上游 A（不宜离排污口过近）和下游 B（不宜离排污口过远）布设采样点，一般布置 3～7 个采样点，监测污染项目 COD_{Mn}、氨氮等的浓度值，并同时测验水文参数以确定断面平均流速。采用两点法或最小二乘法计算出污染物降解系数值。

两点计算法：

$$K = \frac{86400u}{x}\ln\frac{c_A}{c_B} \tag{10.4}$$

最小二乘法：

$$K = 86400 \times u \times \left\{ \frac{m\sum_{i=1}^{m} x_i \ln c_i - \left(\sum_{i=1}^{m} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{m} \ln c_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^{m} x_i\right)^2 - m\sum_{i=1}^{m} x_i^2} \right\} \tag{10.5}$$

10.4 水体纳污能力计算方法

10.4.1 内河纳污能力计算

1. 基本计算公式（完全混合法）

水体纳污能力由自净容量和稀释容量两部分组成，水体纳污能力的计算公式为：

$$W = Q_0(C_s - C_0) + KVC_s + qC_s \tag{10.6}$$

式中 Q_0、C_0——进口断面的入流流量和水质浓度；

q——旁侧入流流量；

C_s——该水体的水质标准；

V——水体体积；

K——水质降解系数。

若同一水体可能具有不同的功能区划，此时水体纳污能力的计算公式改写为：

$$W=\sum_{i=1}^{n}Q_{0i}(C_{si}-C_{0i})+\sum_{i=1}^{n}K_iV_iC_{si}+\sum_{i=1}^{m}q_iC_{si} \tag{10.7}$$

式中 C_{si}——不同功能区相应水质标准下的浓度，$i=1$，2，…，n；

K_i——不同功能区的水质降解系数；

V_i——不同功能区的水体体积；

q_i，Q_{0i}，C_{0i}——不同功能区旁侧入流流量、进口断面的入流流量和水质浓度。

2. 不均匀系数订正

总体达标水体纳污能力方法计算出的结果值偏大，一般称为偏不保守。故为了符合实际起见，引入不均匀系数的概念进行订正。订正方法如下：

$$W_{订正}=\alpha W \tag{10.8}$$

式中 α——不均匀系数；α 为界于 0 和 1 之间的一个数。

3. 双向河流时的计算方法

对于往复流地区，采用双向流计算公式，具体如下：

$$W=\frac{A}{A+B}W_{正}+\frac{B}{A+B}W_{反} \tag{10.9}$$

$$W_{正}=Q_{01}(C_S-C_{01})+K_1V_1C_S+q_1C_S \tag{10.10}$$

$$W_{反}=Q_{02}(C_S-C_{02})+K_2V_2C_S+q_2C_S \tag{10.11}$$

式中 A——计算时间段；

B——反向流在计算时间段中的天数；

$W_{正}$——正向河流的水体纳污能力值；

$W_{反}$——反向河流的水体纳污能力值。

10.4.2 外江纳污能力计算

外江水体纳污能力由两部分组成：一为向外江排污形成的污染带长度的水体纳污能力；二为引外江水到内河地区增加的稀释容量。向外江排污产生的水体纳污能力由污染带长度控制法进行计算；引外江水增加的稀释容量按照完全混合公式进行计算［见式(10.12)］。

1. 向外江排污产生的水水体纳污能力计算方法

首先根据外江沿线的工业污染源分布情况、主要入江支流排污口分布情况、沿江污水处理厂分布情况进行入江排污口概化，概化排污口（综合考虑现状及规划）。根据水文设计条件以及率定得到的水量水质模型参数，采用一、二维联解的非稳态水量水质数学模型对概化排污口进行污染带长度计算，求得污染带长度为 500～1000m 情况下的各排污口允许排污量值。以各排污口允许排污量值为基础进行向外江排污产生的水体纳污能力计算，具体为：

（1）计算出概化排污口在污染带长度下的允许排污量值。

（2）调查得到岸线长度，取岸线长度的 10%作为排污混合带区域。

（3）在外江岸线长度的 10%用作排污混合带基础上，根据概化排污口允许排污量计

算结果，进行允许排污量累计及向外江排污产生的水体纳污能力值计算。根据不同排污量、不同水文设计条件、不同上游边界水质浓度值建立污染带大小（长、宽、面积）与排污量响应关系曲线，进行分析。

2. 引外江水到内河增加的稀释容量计算公式

引外江水到内河增加的稀释容量的计算公式为：

$$W = Q_0(C_s - C_0) \tag{10.12}$$

式中 W——引外江水增加的稀释水水体纳污能力；

Q_0——外江引水量；

C_s——内河水环境功能区划值；

C_0——外江水环境功能区划值。

10.4.3 湖库纳污能力计算

1. 面积较小的湖库

对于面积较小的湖库，污水进入湖库后可认为得到完全混合，进出水量相近，利用完全混合公式进行水体纳污能力的计算。

在进行水体纳污能力计算时要进行不均匀系数订正，见式（10.8）。具体如下：湖库面积大于50km²，采用其他方法进行计算；10～50km²，α=0.1～0.3；5～10km²，α=0.3～0.6；小于5km²，α=0.6～1.0。

2. 面积较大的湖库

利用水质模型，计算出湖体中各功能区的水质状况，分析各功能区水质达标时，入湖排污口的污染物排放量即为湖库的水体纳污能力值。可用箱模型进行模拟计算，将湖库划分为若干个箱（每一功能区为一箱），各个箱体内水质近似看成均匀的。

对任何单元的方程为：

$$V_i \frac{\partial c_i}{\partial t} = \sum \left[(Q_{ji}C_j - Q_{ij}C_i) + \frac{D_{ij}A_{ij}}{L_{ij}}(C_j - C_i) \right] + S_i \tag{10.13}$$

式中 V_i——i 箱体积，m³；

Q_{ji}——从 j 箱流入 i 箱的流量，m³/s；

D_{ij}——i 箱扩散到 j 箱的扩散系数，m²/s；

A_{ij}——i 箱与 j 箱的交界面面积，m²；

L_{ij}——i 箱与 j 箱之间的箱心距离，m；

C_j、C_i——j、i 箱浓度，mg/L；

S_i——从其他途径进入 i 箱的物质，g/s；

$\frac{D_{ij}A_{ij}}{L_{ij}}$——流量单位，代表 i 单元与 j 单元之间的交换流。

$\frac{\partial c_i}{\partial t} \neq 0$ 时，可解出水质在本底基础上随时间的变化过程，即水质预测动态模型；

$\frac{\partial c_i}{\partial t} = 0$ 时，水质不随时间变化，只与输入输出物质及边界条件有关，随时间推移趋于稳定，称为稳态模型。

第11章　污染源控制途径

目前污染源总体上可分为工业、生活和农业三大类，本章分别阐述三大类污染源排放量（产生量）、入河量的计算方法及污染控制途径。

11.1　工业污染源

11.1.1　现状调查

采用调查现有资料与实测相结合的方法进行工业污染源调查，重点了解工业污染源所属行业、位置、（重复）用水量、废水排放量、各类污染物（重点为COD和氨氮）排放量、有无废水治理设施（废水治理设施能力）和废水去向，并分析污染物排放量前几位的行业和该区域的工业污染特征；采用等标污染负荷法进行污染源评价，进行主要污染源以及主要污染因子的分析确定。

11.1.2　污染物排放量及入河量预测

1. 工业污染物排放量预测公式

$$W_{Ip}=Q_{Ip}C_n \tag{11.1}$$

$$Q_{Ip}=Q_I\,\xi W \tag{11.2}$$

式中　W_{Ip}——预测的工业污染物排放量；

Q_{Ip}——预测的工业废水排放量；

C_n——污染物浓度；

Q_I——工业需水量；

ξ——废水排放系数；

W——科学进步因素。

（1）工业需水预测：一般工业需水采用万元增加值用水量法进行预测。选取工业增加值作为工业用水量的主要影响因素，分析该区域历年万元工业增加值用水量与工业增加值之间的关系，通过不同的数学回归模型的试算，选用指数回归法进行预测，其回归方程为：

$$\log y=a\log x+b \tag{11.3}$$

式中　y——万元工业增加值需水量；

x——工业增加值；

a、b——回归系数。

（2）废水排放系数：取现状基准年的废水排放系数。

（3）科学进步因素：综合考虑生产技术及节水技术的创新，根据实际情况取值。

工业污染物排放量预测后，根据式（11.4）计算出工业污染物入河量。

2. 工业污染物入河量计算方法

$$W_{工} = (W_{工p} - \theta_1)\beta_1 \tag{11.4}$$

式中 $W_{工}$——工业污染物入河量；

$W_{工p}$——工业污染物排放量；

β_1——工业污染物入河系数，取值为0.8～1.0；

θ_1——被污水处理厂处理掉的量。

11.1.3 污染源控制途径分析

尽管工业污染源种类繁多，各行业的排污情况不尽相同，但工业污染控制仍有相通之处。在控制工业污染的过程中，一些措施是值得借鉴的。

1. 加强环境法制建设，强化环境意识

根据各地的实际情况，建立和完善相应的地方法律法规和配套政策，严格执行环境影响评价制度和“三同时”等各项环境管理制度，按照“以新带老，增产减量”的原则，控制新污染；对总量达不到要求的行业或地区不予审批；对不符合要求的项目限期整改，整改后仍不具备验收条件的要停产整顿。同时，在污染源实现达标排放的基础上加强对老污染源的监督检查，对不能稳定达标排放的企业依法进行关停；对现有持有排污许可证的企业，要严格按照政府下达的总量控制指标进行削减，完不成控制指标的不准扩大生产规模。

2. 合理调整工业布局，优化产业结构

大力推进国有企业改革和发展，加快经济结构和布局的调整，继续实施“三二一”产业发展方针，坚持以知识经济为方向，以高新技术产业为核心，用高新技术产业改造传统产业，推进产业结构战略性调整。

在产品结构调整中，以市场需求为导向，按照技术密集强度高，产品附加值高，市场占有率高和能耗少、水耗少、排污少的“三高三少”原则，调整产品结构，通过产品结构的调整优化，改变能源重化工基地的原材料和初级产品为特征的现状，适应经济体制和经济增长转变要求，降低单位产品能耗，减轻结构性污染。

坚持可持续发展战略，调整工业布局，加快工业布局的“三大转移”，即污染扰民企业从中心城市向远郊城镇转移，工业发展从外延发展向调整改造转移，企业发展从劳动密集型向技术密集型转移。限制能耗高、物耗高、污染严重、附加值低、工业装备落后、缺乏技术优势和市场的行业和产品的发展。通过调整工业布局，重点保护市中心区，建立外围工业区，合理利用水体纳污能力，逐步消除不合理工业布局对环境的影响。

3. 实施清洁生产，建立现代企业制度

清洁生产是现代工业发展的新方向，为积极推行清洁生产，推动企业经济增长方式和污染防治的转变，提高资源和能源利用效率，实现环境与经济可持续发展，根据几年来的试点经验，清洁生产在我国的实践经验中仍然存在一些障碍：环保意识、组织、资金、技术、政策等方面的障碍。建议应采取以下几个方面的措施和对策：

(1) 加快完善清洁生产政策。现行条件下，由于企业内外部存在一系列实施清洁生产的障碍约束，要使作为清洁生产主体的企业完全自发地采取自觉主动的清洁生产行为是极其困难的，单纯依靠宣传培训和企业清洁生产示范推动清洁生产，其作用也不足以保证清

洁生产广泛、持久地实施。通过政府建立起适应清洁生产特点和需要的法律法规和政策措施，营造有利于调动企业实施清洁生产的外部环境将是促进中国清洁生产深入广泛开展的关键。

(2) 深入实施清洁生产审计。我国的清洁生产审计主要侧重在生产过程系统中，事实上，产品设计上的决策更具有显著作用。因此，将清洁生产的另一个侧面，即产品系统的再设计或产品生命周期分析评价问题纳入到清洁生产审计中，将是推动清洁生产及其审计向纵深发展的方向。

(3) 明确各职能部门的职责，加大政府的引导和扶持力度。为推进清洁生产向深度和广度发展，政府应把推行清洁生产作为建立环境与发展综合决策机制的重要内容，明确有关职能部门进行有效管理，加大引导力度，真正形成“政府领导、部门负责、企业实施”的运行机制。相关部门和金融机构在企业实施清洁生产项目过程中，应尽量在税收、贷款、污染防治基金、技改贴息、项目审批、科研开发等方面出台优惠政策，为全面推行清洁生产提供保障和扶持。

(4) 成立清洁生产技术咨询机构，为推行清洁生产提供技术支持。一个企业要实施清洁生产，需要一套科学完整的系统程序，技术要求较高。为帮助企业解决技术疑难问题，应成立专门的技术服务机构，负责对企业进行清洁生产知识及清洁生产审计方法的培训。同时技术服务机构还可以进行研究开发清洁生产技术，收集国内外同行业清洁生产的成功经验，加以推广。

4. 大力发展工业节水

我国工业行业由于生产工艺落后、生产设备陈旧、管理水平低下等原因，水的利用效率非常低。另外，在滨江地区，水没有被当作一种珍惜资源，而一直被认为是取之不尽、用之不竭的，水一直处于低价或无偿使用，使得诸如长江流域一般工业产品成本中水成本不到3%，因此，许多工厂不重视节水和提高水的重复利用率，也是导致水的利用效率低下的一个重要原因。例如，长江流域1997年万元GDP用水量为1056m^3，万元工业产值用水量为115m^3，是发达国家的5～10倍，是国内平均水平的近2倍。工业用水重复利用率与发达国家工业用水重复利用率相差3倍左右，单位工业产品用水量往往高出先进发达国家几倍、十几倍乃至几十倍。

以长江流域为例，火电业单位万kW·h用水量是世界先进水平的27倍，水的重复利用率是世界先进水平的1/3左右，主要是因为长江流域火电业设备大多数还是20世纪50～60年代建设的采用直流供水方式的火电厂，如果进行设备更新改造和技术革新，改直流供水为封闭式循环冷却方式供水，开展工业废水和化学废水回收处理，实施干式除灰和采用节水型火电厂最新冲灰系统等，使用水量达到全国平均水平438m^3/万kW·h，以流域内3500亿kW·h/a火电量计，年节水量为84.7亿m^3，可减少污水排放量76.23亿m^3，减少污水处理费用762.3亿元。另外，造纸业是主要的用水和污染大户，是主要的工业污染源之一，年污水排放量约占各工业总排水量的1/3。长江流域造纸业用水量大的原因主要是生产规模过小，年平均生产规模为0.236万t（世界造纸工厂的年平均生产规模为3.766万t，中国除外）；生产工艺落后、生产设备陈旧，流域内造纸设备的70%为20世纪50～60年代以前的，20世纪70年代以后较为先进的设备约占30%，若进行设

备更新和工艺改造将可减少60%的用水量和污水排放量。另一用水和污染大户化学工业也存在同样的问题，例如，长江流域某化肥厂年生产3万t合成氨，自实行化肥厂的合成、碳化塔冷却水循环和造气污水回用（简称“两水”循环利用与回用）以后，节水减污效果明显。

据测算，工业多用1m³水，将多排0.7m³的污水。根据分析，预测2010年供水设施的单位投资约为8元/m³，污水处理约为10元/m³，而节水仅需3元/m³左右。可见滨江地区工业节水的潜力很大，前景极其乐观。

5. 加强重点行业的污染治理

通过调查分析得出本地区工业污染的重点行业，加强对其治理是重中之重，应采取产业和产品结构调整，淘汰落后工艺设备、技术改造和末端治理，降低产品排污量，在实现达标排放基础上继续削减污染物排放总量。这些行业的工业废水，要通过推行清洁生产、工艺改造和强化末端治理相结合的办法加快治理进度，全面实现稳定达标排放，并进一步削减污染物排放量。工业固体废物要实施源头削减和总量控制的措施，综合利用要向资源化、能源化和新型建材等领域发展。

11.2 生活污染源

11.2.1 现状调查

收集基准年以前人口变化增长及城镇化率资料，弄清现状城镇人口数量及分布；调查入河排污口的位置与数量、口门型式及断面尺寸、污水类别、排放方式；结合当地已有的生活污染源监测资料，分析区域内基准年和历史年各集水区的生活污水量和主要污染物（COD、BOD_5、氨氮、磷酸盐、SS、特征污染物）的排放量。收集区域内污水处理厂的分布、数量、服务范围和人口、处理能力、处理工艺和处理程度等资料。污水处理厂处理量，进水、出水水质包括氮、磷、COD_{Cr}、悬浮物等指标。

11.2.2 污染物排放量及入河量预测

1. 城市生活污染物排放量预测公式

$$W_{生2p} = N_{城}\alpha_2 \tag{11.5}$$

式中 $W_{生2p}$——预测的城市生活污染物排放量；

$N_{城}$——预测的城市人口数；

α_2——城市生活排污系数，根据国家环保总局推荐的污染源测算方法，城市生活污染源排污系数：COD为60～100g/（人·d），NH_3-N为4～8g/（人·d）。

生活污染物排放量预测后，根据式（11.6）计算出城市生活污染物入河量。

2. 城市生活污染物入河量计算方法

$$W_{生2} = (W_{生2p} - \theta_2)\beta_3 \tag{11.6}$$

式中 $W_{生2}$——城市生活污染物入河量；

$W_{生2p}$——城市生活污染物排放量；

β_3——城市生活污染物入河系数，取值为0.6～0.9；

θ_2——被污水处理厂处理掉的量。

11.2.3 污染源控制途径分析

随着社会经济的发展，人口不断增加，城镇化速度越来越快，生活污染源对环境造成的压力越发凸显。对于生活污染源的控制，以下几点是值得考虑的。

1. 城市生活节水

从家庭用水调查来看，做饭、洗衣、冲洗厕所、洗澡等用水占家庭用水80%左右。目前各地基本上在使用老式的、普通的家庭用水设施，由此可见，改进厕所冲洗设备，采用节水型家用设备是城市节约用水的重点。例如，一次冲水量在9L以上（含9L）便器冲洗一次要用水9L以上，而节水型产品平均只需3～6L左右；普通淋浴喷头每分钟喷水20多L，节水型喷头至少可节省一半用水；节水型洗盘机和洗衣机比普通型产品节水25%～30%。采用这些简单的节水措施很容易使家庭用水量减少1/3。以各滨江地区人口计算，家庭生活用水的节水潜力是很大的。据测算，$1m^3$ 生活用水，将产生 $0.9m^3$ 生活污水，而同时可节约下来的污水处理项目，其投资将更是巨大。

很多地区相当部分供水设施已老化或存在一定缺陷，部分工艺和设备落后，供水管网系统跑、冒、滴、漏损失严重。据自来水部门调查，供水管网损失率达20%以上，而发达国家在10%以下。以1997年长江流域自来水供水量286亿 m^3 计，全年供水管网漏失水量达57.2亿 m^3 以上。据武汉市有关资料统计，武汉市自来水管网年均漏失达1亿多 m^3，可见加大管网改造具有很大的节水潜力。

2. 采取积极措施，治理城市生活污水

城市生活污水对水体污染的贡献率已超过工业点源污染，对生活污水的处理已迫在眉睫。除了要提高生活污水的集中处理率外，还必须提高污水处理的深度。目前很多污水处理厂的尾水排放浓度仍然达不到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准，然而即使达到一级A标准（其中的COD为50mg/L），尾水仍然是劣Ⅴ类的水，这样的水排入河道同样是严重的污染。在这个问题上，美国很多污水处理厂的做法值得我们借鉴。早在1993年，美国特拉华流域水利治理工程的污水处理厂的尾水排放至河道，必须达到鱼类生长和游泳要求，现特拉华河水下游反复利用达到6次，水处理后仍可达到饮用水标准。另一方面，若尾水都是劣Ⅴ类的水，作为河湖环境用水都不符合标准，只能勉强作为农业灌溉用水，但由于污水处理费用高，实际农业灌溉所用污水大部分仍是未处理过的污水。只有提高污水处理厂污染物排放标准，再生水才有广泛使用的可能，否则现行标准的再生水回用将难有市场。

在规划污水处理厂时应注意以下几点。

（1）城市污水治理应集中与分散相结合：集中收集和处理，处理厂大型化可以降低处理单位水量的基建投资，便于管理，而且可以降低处理能耗，降低单位水量的处理成本。然而，如果过于集中，污水收集和输送的成本将迅速上升，会抵消前述优点，如果再考虑污水处理后的回用，适当分散处理，就近回用，就会有明显的优势。因此，一个城市在规划其污水处理方案时，必须综合考虑污水的收集、输送、处理、再利用等各环节的费用，以确定污水处理厂的位置、规模和处理方式，大分散，小集中。

（2）大城市的污水处理由于可以形成规模效益，可以和供水结合引入市场机制，吸引外资，实行企业化经营；中小城市污水处理暂时不能形成规模效益，国内企业与外资企业

均无意经营，只能由政府进行经营，污水处理厂的建设与运行资金应由市民交纳的排污费和市财政提供。

（3）有一点需要特别指出，现在出现的一种状况是污水处理厂已经按照规划建好，但是配套管网却不见踪影，尽管管网的建设费用较污水处理厂本身要昂贵得多，但若该区域污水处理设施建设的必要性已经通过论证，就必须克服资金技术的困难把管网建好，否则建好的污水处理厂只是空中楼阁。

3. 提高污水处理厂再生水（中水）回用率

尽管滨江地区从水资源总量上讲并不匮乏，但是随着污水处理厂的建设规模逐步扩大，生活污水的集中处理率越来越高，同时由于现今尾水排放标准不高，若污水处理厂的尾水全部排入河道，对本来就不堪重负的水体纳污能力来说是一个沉重的包袱，所以加快中水回用的步伐势在必行。为了加速中水回用工作的开展，国家提出了把城市污水处理及再生利用技术作为科研重点，在环保产业中推广应用，并出台了相应法规、法令，制定了设计规范、回用水水质标准。

污水处理厂再生水回用在技术和经济上是可行的。随着污水量不断增大，易于收集，水量水质相对较稳定，受季节、雨旱季、洪水枯水等影响较小。在回用水水质要求上，城市污水二级处理出水，经过适当的深度处理后可达回用水质要求，技术上可行。城市污水厂一般建造在城郊，与外环境调水、远距离输水相比，可大大减少输水管线的基建投资和运行费用。将城市污水处理到杂用水，其基建投资相当于从 30km 外引水；若处理到可回用于较高要求的工艺用水，其投资相当于从 40～60km 外引水。与新建水厂相比，城市污水深度处理回用基建投资和运行费用低于新建水厂的基建投资和制水成本；与海水淡化单位成本相比，污水深度处理成本也比海水淡化低廉。因此，城市污水深度处理回用经济上也是可行的。

11.3 农业污染源

11.3.1 现状调查

农业面源污染是影响农业可持续发展的重要原因之一，与点污染源造成的水环境污染相比，面源带来的水环境污染具有一些独特的特点，农业面源污染具有随机性、广泛性、滞后性、模糊性、潜伏性、难监测和难治理等特性。农业面源主要包括农药化肥的大量流失、农村居民生活污水的排放和生活生产废弃物的不合理处置、畜禽养殖污染、地表径流和水土流失等。

1. 农药化肥的大量流失

化肥对农业的贡献是有目共睹的，现代农业的一个重要特征是大量使用化肥。农村种植业化肥过量使用严重，不仅使化肥的边际效应不断下降，造成资源的浪费；还对区域环境质量构成严重威胁。化学肥料的大量和过量使用，使土壤营养盐高度富集，氮、磷余量不断增加，导致并加剧了营养元素向水体的流失。施肥量大大超过肥料的合理施用量，农田系统养分失衡，加速了向农田生态系统外流失造成污染，还造成了农田土壤养分水平不断提高，营养元素过量积累，土壤养分供应失调，进而导致作物产量对化肥的依赖性增加。

目前我国农药的产量和使用量都居世界前茅，但利用率却不足30%。大量使用农药，虽然控制了病虫害，但大部分农药残留于环境中，造成潜在的威胁。

2. 农村居民生活污水的排放和生活生产废弃物的不合理处置

由于农村地区没有污水管道，居民的生活污水一般不经过处理任意排放，生活污水所含的氮、磷是造成水体富营养化的重要原因。农村地区生活垃圾没有进行集中处理，一般随意堆放，一遇降水，污染物就随着雨水排入水体造成污染。

3. 畜禽养殖污染

近年来畜禽养殖业从分散的农户养殖转向集约化、工业化、规模化养殖，畜禽粪尿污染大幅度增加，成为一个重要污染源。畜禽粪便污染物的任意堆放，致使畜禽污水未经处理任意流失，多余的氮污染地表水，且渗入地下而污染地下水。过多的氮促使藻类疯长，造成水体的富营养化和黑臭，危害水产业，并影响沿岸的生态环境。近年来，畜禽粪尿流失污染地表水已成为一些河段最大的有机污染源。

畜禽养殖业对水体的污染主要由以下几个因素造成：

(1) 现行的相关政策法规执行难度较大。现行的污染源管理工作主要是针对工业污染源，无论是“三同时”制度，还是排污许可证制度均主要针对工业企业等点源污染源，对畜禽污染一类的面源污染源研究和考虑得不够。目前，部分地区根据地区实际制定一定的排放标准，用于监督管理，但在具体操作过程中难度较大。

(2) 饲养基地布局不尽合理。目前，很多地区畜禽饲养呈现规模化集中饲养与分散小规模家庭饲养并存的局面。小规模的分散饲养对于污染治理极为不利，一般来说，小型或家庭饲养场限于条件，不可能建立污染处理设施进行粪便处理，大多数污染物均直接或间接地冲刷入地表水环境。而大中型饲养场布局时多从生产、销售、运输等经济利益的角度出发，而较少考虑其对周围生态环境的影响。

(3) 畜禽粪便的利用率低。实地调查发现许多地区耕地的畜禽粪便利用量较低。一方面，随着地区经济发展和产业结构的调整，从事农业，特别是传统种植业的人口大量减少，并主要是年老体弱者和妇女；另一方面，在比较利益的驱动下，农村劳动力投向耕地的也明显减少，也缺乏有力机构将农民组织起来施用畜牧场的畜禽粪便。这样，在很大程度上改变了传统的种植业生产方式，农民主要施用方便干净的化肥，单位耕地上有机肥的施用量大幅度减少。

4. 地表径流和水土流失

地表径流和水土流失是典型的面源污染，与降雨量密切相关，又受降雨强度、植被覆盖度、作物种类与耕作制度、土壤特性和坡度等诸多因素影响。对于滨江地区而言，经过调查，由于土壤侵蚀造成水土流失（扣除伴随的肥料等流失）而进入水体的量仅占一小部分，较肥料流失、畜禽粪尿流失等因素所产生的作用，对影响水体水质的贡献率不大。

农村污染源的现状调查内容复杂，只有结合当地实际，对照具体污染源确定调查项目，才能准确全面地了解当地农业污染源的情况，一般主要包括以下内容：

(1) 农村生活污水及固体废弃物。需调查农村社会综合用水量（包括乡镇企业用水量）和排水量、农业人口数量、畜禽养殖数量。

(2) 化肥农药使用造成的农田径流污染。需调查农田面积、坡度、农作物类型、土壤

类型、年降雨量、轮作方式、化肥施用量等；

（3）畜禽养殖污染源。需调查规模化畜禽养殖企业的养殖种类及数量、年用水量及排水量、排污方式、处理工艺等。

11.3.2 污染物排放量及入河量预测

由于地表径流和水土流失对研究区域的污染贡献较小，本节选取农村生活、农药化肥及畜禽养殖为农业污染因子，对它们的排放量和入河量进行预测。

1. 农村生活污染物排放量预测公式

$$W_{生_{1p}} = N_{农}\alpha_1 \tag{11.7}$$

式中 $W_{生1p}$——预测的农村生活污染物排放量；

$N_{农}$——预测的农村人口数；

α_1——农村生活排污系数。

2. 农田污染物排放量预测公式

$$W_{农p} = M\alpha_3 \tag{11.8}$$

式中 $W_{农p}$——预测的农田污染物排放量；

M——预测的耕地面积；

α_3——农田排污系数。

3. 畜禽养殖污染物排放量预测公式

$$W_{畜禽p} = N_{畜禽}\alpha_4 \tag{11.9}$$

式中 $W_{畜禽p}$——预测的畜禽养殖污染物排放量；

$N_{畜禽}$——预测的折换成猪后的养殖头数；

α_4——畜禽养殖排污系数。

根据国家环保总局推荐的污染源测算方法，各类污染源排污系数见表 11.1。

表 11.1　　各类污染源排污系数表

农村生活排污系数 [g/（人·d)]		农田排污系数 [kg/（亩·a)]		畜禽（折算成猪）养殖排污系数 [g/（头·d)]	
COD	NH_3-N	COD	NH_3-N	COD	NH_3-N
40	4	10	2	17.9	3.6

其中，畜禽量按照如下关系换算：30 只蛋鸡＝1 头猪，60 只肉鸡＝1 头猪，3 只羊＝1 头猪，5 头猪＝1 头牛，50 只鸭＝1 头猪，40 只鹅＝1 头猪，60 只鸽＝1 头猪，均换算成猪的量。猪粪尿污染物排放量：COD 为 50g/（头·d)，氨氮为 10g/（头·d)。对畜禽废渣以回收等方式进行处理的污染源，按产生量的 12%计算污染物流失量。

农田化肥亩施用量在 25kg 以下，修正系数取 0.8～1.0；25～35kg，修正系数取 1.0～1.2；在 35kg 以上，修正系数取 1.2～1.5。年降水量在 400mm 以下的地区取流失系数为 0.6～1.0；年降水量在 400～800mm 之间的地区取流失系数为 1.0～1.2；年降水量在 800mm 以上的地区取流失系数为 1.2～1.5。

农村生活、农田和畜禽养殖污染物排放量预测后，根据式（11.10）～式（11.12）计

算出污染物入河量。

4. 农村生活污染物入河量计算方法

$$W_{生1} = W_{生1p}\beta_2 \tag{11.10}$$

式中 $W_{生1}$——农村生活污染物入河量；

$W_{生1p}$——农村生活污染物排放量；

β_2——农村生活污染物入河系数，取值为 0.1～0.2。

5. 农田污染物入河量计算方法

$$W_{农} = W_{农p}\beta_4\gamma_1 \tag{11.11}$$

式中 $W_{农}$——农田污染物入河量；

$W_{农p}$——农田污染物排放量；

β_4——农田污染物入河系数，取值为 0.1～0.3；

γ_1——修正系数，取 1.2～1.5。

6. 畜禽养殖污染物入河量计算方法

$$W_{畜禽} = W_{畜禽p}\beta_5 \tag{11.12}$$

式中 $W_{畜禽}$——畜禽养殖污染物入河量；

$W_{畜禽p}$——畜禽养殖污染物排放量；

β_5——畜禽养殖污染物入河系数，COD 取 0.5～0.8；氨氮取 0.5～0.8。

11.3.3 污染源控制途径分析

为了有效控制农业面源污染，首先强调的是加强法律法规体系建设。根据国外先进经验，有效控制农业面源污染的办法是制定一系列限制性法规。多数地区原有的一些地方性农业环境保护法规和规章，缺乏地方特色、可操作性差。因此，必须针对目前环境现状，制定一系列因地制宜的环境保护法律法规和措施。同时，相关部门必须加强环境保护执法监督队伍建设，从管理和业务水平上提高执法人员自身素质，真正做到“有法可依、执法必严”，充分运用法律、行政、经济和技术手段来保障农村水生态环境的健康发展。

目前一些地区对于控制农业面源污染的意识还不强，因此加强环境保护意识教育是非常紧迫的。防治农业面源污染是一项治理难度大、技术性强、成效周期长且需要全社会广泛参与的系统性工程。因此，要做好这项工作，首先要加强水生态环境保护的宣传。利用广播、电视、网络、报刊和各类农业技术培训等途径，广泛普及农业面源污染防治知识，提高全民水生态环境保护的意识。其次是加强政府引导和支持。对于达到排放要求的养殖企业和个人典型给予政策、资金上的扶持和奖励。再次，要在各级政府的农业发展规划中引入农业环境评价体系和循环经济理念和方法，制定完善的防治农业面源污染的农业环境保护规划，以实现农村水生态环境保护的法制化、规范化和科学化。

落实到技术层面，对于农村生活污水和农村固废、农田径流和畜禽养殖污染源，必须分别采取相应的措施进行控制，为环境减压。

11.3.3.1 新农村建设水为先——关注农村生活污水处理

我国政府高度重视“三农”问题，随着新农村建设的有效推进，为了更好地改善农民的人居环境，农村生活污水的处理显得尤为重要。

随着农村经济发展，农村地区生活水平不断提高，农村生活污水引起的面源污染问题

也日益严重。目前农村人口分布广而且分散，生活污水水质水量波动性大，排水管网很不健全；村镇经济力量薄弱；缺乏污水处理专业人员。针对这些现状，农村污水处理工艺应满足抗冲击负荷能力强，宜就近单独处理，建设费用低，运行费用低，操作管理简单的要求。人工湿地、稳定塘、分散式污水处理装置与其他污水处理技术相比具有高效率、低投资、低运行费、低维持技术、低能耗等优点，根据我国农村村镇生活污水的特征和污水处理要求，上述几种工艺比较适合我国广大农村的污水处理。

1. 人工湿地技术

人工湿地作为一种新型生态污水处理技术，具有投资和运行费用低（仅为传统二级污水厂的1/10～1/2），抗冲击负荷能力强，处理效果稳定，出水水质好，水生植物有一定经济价值等诸多优点。目前国内外常见的人工湿地主要有3种形式：垂直流人工湿地、表面流人工湿地和潜流人工湿地。垂直流人工湿地的填料床深度一般为潜流人工湿地的2倍左右，且深床结构容易堵塞，造价较高，因此用于农村生活污水处理的主要是表面流和潜流人工湿地两种形式。

表面流人工湿地与自然湿地相类似，其土壤被水体所覆盖，因而它与污水接触的面积较大。表面流人工湿地成熟期短，只需要3～4个月。表面流人工湿地通常是利用天然沼泽、废弃河道等洼地改造而成，因而其建设费用较潜流人工湿地要低。

潜流人工湿地能提供较多的孔隙以使污水能迅速渗漏到整个基质床，充分利用了填料表面生长的生物膜和丰富的植物根系；保湿性又好，处理效果受气候影响小，不易滋生蚊虫；表层土和填料截留的作用，可以延长水流的停留时间，提高了处理效果和能力。但其成熟期相对较长，需要1～2年，且潜流人工湿地有一定的基质组成，投资较表面流人工湿地大。但在相同水力停留时间下，表面流人工湿地的水力负荷只有潜流湿地的1/3～1/2，若要达到同样的处理规模，则需占用更多的土地。

2. 稳定塘

稳定塘可充分利用地形，节省基建投资；运行维护费低，系统基本不耗能；无需污泥处理；可实现污水资源化。但传统的稳定塘也存在诸多缺点，如：有机负荷低，占地面积大；处理效果受气候条件影响大；悬浮的藻类使出水COD较高。随着研究的逐步深入，发展了很多新型塘和组合塘工艺，进一步强化了稳定塘的优势，或者弥补了原有技术的不足。如高效藻类塘：较浅的塘的深度，一般为0.3～0.6m，；有一垂直于塘内廊道的连续搅拌的装置；较短的停留时间；宽度一般较窄。高效藻类塘的这些特点就使得它有运行成本低、维护管理简单等优点，又克服了传统稳定塘停留时间过长，占地面积大等缺点，在处理农村及小城镇污水方面具有广阔的应用前景。

3. 污水分散处理模式

即将农户污水按照分区进行收集，每个区域污水分片收集后，采用中小型污水处理设备单独处理。适用于村庄布局分散、规模较小、地形条件复杂、污水不易集中收集的村庄污水处理。具有布局灵活、施工简单、管理方便、出水水质有保障等特点，也不失为解决农村分散式污水处理的有效途径。目前在农村地区推广的小型装置主要有：生物滤池、无动力埋地式污水处理装置、污水净化沼气池等小型污水处理装置。

11.3.3.2 农村固废的资源化

在农村地区推广生态厕所。生态厕所可以有效处理人畜粪便以及生活产生的有机废物，处理后可作为有机肥用于农业生产，减少化肥的使用。它的原理是通过有氧微生物的放热发酵，将排泄物转化为无臭味的气体（水和二氧化碳）和较干燥的有机肥。在经济较发达的农村地区，可以结合实际情况，考虑生态厕所的推广。提倡农用地膜、秸秆再利用，推广农村固废堆肥化技术。

11.3.3.3 减少农田径流污染

1. 大力发展农业节水

目前农业节水中存在的主要问题：

（1）认识未到位。广大的农民群众为了追求高产而一味大量不合理施用化肥和农药，而大水漫灌等落后的灌溉方式又会使大量未经作物吸收的化肥和农药随水流入江河后造成水污染。“节水就是减污”还没有被广大农民群众认识。农业水价偏低或无偿用水也是导致农民节水认识不够的一个原因。

（2）政策研究不够。节水灌溉方面的政策、法规和规章制度建设相对滞后，农业灌溉用水管理体制不适应市场机制的要求。特别是如何用经济政策鼓励和调动农民的节水积极性，政府对发展节水农业和推广节水灌溉应采取哪些扶持政策，以及对粗放用水应实施怎样的约束机制研究得还很不够。节水的立法工作相当滞后。

（3）技术水平较低。节水灌溉设备品种和产品质量还不能满足节水灌溉的发展需要，节水灌溉的技术监督和质量检测工作亟待加强，节水灌溉制度的研究和应用仍是薄弱环节。灌溉的设计规范和灌溉用水标准大多是按传统的充分灌溉概念制定的，尚不适应节水灌溉的发展要求，不利于节水灌溉的进一步推广。

（4）资金投入不足。例如长江流域灌区普遍老化、失修严重，节水改造所需资金数额巨大。目前，各灌区节水改造所需资金尚无稳定的投资渠道，尽管国家每年安排了一定的大型灌区节水改造资金，但地方配套资金往往不能完全到位，远不能满足灌区节水改造的需求。

（5）灌溉水价偏低。目前多数灌区农业水价管理形式主要是采用大水漫灌，实行按面积收费，导致绝大多数地区水价远没有达到供水成本水平，多数灌区现行农业水价只有供水成本的30%～60%，有些水利工程甚至无偿供水，大多数供水经营者亏损严重。水价偏低既不能发挥价格杠杆的作用，也不利于节水灌溉的普及及推广。

加强农业节水应采取的对策：

（1）加强宣传工作，提高节水意识。对于滨江地区，农业节水宣传的重点不能放在水资源的稀缺性上，而应侧重以下3个方面：①节水可以减少农药和化肥的流失量，缓解湖泊富营养化问题，有效保护水资源；②大水漫灌等落后的灌溉方式容易造成土壤侵蚀、板结，养分流失，粮食减产，给农民带来一定经济损失；③水资源是有价值的，多用就要多交水费，浪费就要交惩罚性水费。

采用的宣传方式包括，在醒目的地段竖立节水广告牌，书写节水标语口号；向用水大户发放节水宣传手册或宣传单；组织开展节水灌溉评选表彰活动以及将节水文化和节水文艺节目纳入到农村文化活动和文艺演出中等。

（2）探索用水户参与管理模式。灌溉农业与农民的自身利益关系十分密切，不能一切都由政府专业管理机构包揽，理应吸收农民参与管理，充分发挥农民用水户的积极性。用水户参与管理的形式可以多种多样，目前在我国比较有代表性的模式有 SIDD（经济自立灌排区）和 PIM（用水户参与灌溉管理），且都已有成功的经验。各灌区应结合当地实际，吸收借鉴国内外先进经验，创造符合地方特色的“参与式灌溉管理”模式，并选定试点单位尽快开展相应的改革探索工作。

（3）加强定额管理，实现农业用水总量控制。用水定额管理应该说是水资源相对丰沛地区提高农业用水效率与效益的有效措施。通过定额管理，确定各地区、各灌区不同作物的需水量，明晰各地区各灌区水权，实现用水总量控制，一方面可以减少取用水量，降低供水投资；另一方面也可以减轻面源污染、改善水环境。

（4）建立合理的水价形成机制。合理的水价形成机制应包括：科学的水价制度，完整的水价构成体系，先进的水费计收方式，合理的水价标准以及灵活的水价管理权限。水价制度的建立应根据不同地区的经济发展水平和水资源特点的不同，因地制宜地推行“超定额累进加价”、“丰枯季节水价”、“两部制水价”以及“终端水价”等科学的水价制度。在水价构成上，各地应按照“合理补偿成本，不计利润和税金”的原则确定。水价的计收方式可考虑采用 3 种方式：①实行“货币计价、货币结算”水费计收方式；②实行按供水量计收水费；③实行按合同计收水费。水价标准的制定应充分考虑农民的实际承受能力，不宜定得太高，要达到促进农业种植结构调整、促进节约用水的目的。水价管理权限的调整应逐步打破传统的由省里统一定价的原则，将水价的审批权下放到县级以上的物价主管部门，实行本省范围内的分地区水价。

（5）节水灌溉建设资金应以政府投入为主。节水更多体现的是社会效益，应属公共财政支出的范围，主要由各级财政投入为主。建议各级政府加大节水投入力度并根据财力情况适度建立一些节水建设基金、专项资金，给以特殊支持，确保节水投入的规模和连续性。同时要充分调动社会资金支持农业节水，如充分利用民间资金、外资及国内外的捐赠资金等。另外，还可考虑建立农业节水补偿机制：未来农业节省下来的水量主要是用于城市生活和工业用水，可考虑从每年新增收的水费中提取或附加一定比例用于农业节水。

节水灌溉若能再与耐旱品种结合起来应用，污染防治效果会更好。

2. 有效控制化肥污染

在化肥污染型的滨江地区逐步推广测土配方施肥，氮调控法计算机推荐施肥等较好的计量施肥方法，改氮肥追施时表面撒施为开沟深施，改磷肥撒施为集中施用，改一次施肥为少量多次。研究和制定合理的水肥管理措施，在不影响农作物单产的前提下，最大限度地减少农田化肥的施用量。同时，通过减少税收、提高农产品收购价格等优惠政策鼓励农民种植以施用有机肥和复合肥为主的绿色经济作物，使农业逐步由“高投入、高产出”的无机农业模式过渡到可持续发展的生态农业模式。

（1）科学的施肥方式。深施是目前减少肥料损失，提高化肥利用率效果最好且较稳定的一种方法，与化肥表施相比，将化肥混施于土壤耕层中，可增加作物产量，提高化肥利用率，减少肥料流失。

（2）水肥综合管理。由于肥水是土壤中氮、磷、钾运转及作物吸收过程中的关键因

子，减少田间肥水排出，降低农田化肥流失，肥水的调控至关重要。在耕作中应把握适宜的施肥量和供水量，并根据作物不同生长阶段的需求特点进行综合运筹。如施肥后即进行适宜灌溉或雨前表施可提高化肥利用率。将作基肥使用的化肥采用无水层混施或条施之后再灌水可降低施肥后存留于田面水中的化肥量，减少化肥损失，作追肥施用的化肥将稻田落干，表施化肥后灌水，让水把肥料带入土层中，可提高化肥的利用率。

（3）确定适宜的施肥量和施肥期。发展精准农业，根据不同作物不同时期的需肥特点和土壤的肥力情况确定施肥的种类、数量及施肥期，实行定量化施肥技术。

（4）平衡配套施肥。推广优化配方施肥，控制化肥的施用量，多施复合肥，平衡氮、磷、钾的比例，使化肥结构合理化。化肥施用比例失调会降低作物对化肥的利用率，增大化肥的流失。根据土壤条件、作物种类将施肥量控制在合适的范围之内，平衡施肥是控制化肥污染的首要措施。

（5）有机肥还田。有机肥中的腐殖质可以提高土壤保肥性能，还可增强土壤微生物的数量和活力，利用土壤微生物先将化肥固化，然后再缓慢释放，从而提高化肥的利用率，减少化肥流失。应逐步提高有机肥的施用量，这样不但可以减少化肥的损失，还可以减少畜禽粪便对环境的污染。

（6）选用新型高效肥料。不同的肥料品种对环境的破坏程度不同。在相同的施肥方式和管理条件下，尿素比碳氨肥效高，污染程度低。应推荐使用对环境污染小的化肥品种，扩大新的、压缩老的肥料品种。如缓效性氮肥和包覆肥的使用，缓释肥料具有养分释放与作物吸收同步的功能和满足作物不同生长发育阶段的需要等优点。

（7）选择科学的耕作制度。调整作物的种类与布局，进行合理的间、套、轮作等措施，筛选和利用高产、优质、高效利用肥料的品种，有利于提高肥料的利用率。推广免耕和少耕可减少土壤中水分流失，降低径流中营养物质的含量，有利于防止化肥非点源污染的形成。

3. 调整土地利用方式

为了控制非点源污染物扩散途径，合理利用土地，设计合理的农田景观，在时间、空间上的合理组合，实行农作物的间作套种和轮作，可在一定程度上截留非点源污染物。

11.3.3.4 强化畜禽养殖管理，提高行业污染处理水平

在滨江区域经济、社会、生态追求持续发展的过程中，应重视防治畜牧业对环境的污染。解决畜禽污染的根本出路是树立可持续农业的思想，发展生态型畜牧养殖业，促进生态环境的良好循环。要加强畜禽粪便的综合治理力度，制定畜牧业污染防治法；重新审视滨江区域各郊区畜禽养殖场的分布格局，下决心关、并、停一批污染严重、规模小、布局不合理的畜禽场；大力推进规模化养殖，逐步完善和配套大型畜禽养殖场畜禽粪便的综合治理设施，通过采取“雨污分流、干湿分开、污饮分离、种养结合”等一系列经实践证明行之有效的治理措施，实现畜禽粪便的资源化、减量化、无害化和生态化，形成布局合理、设施先进、清洁生产、达标排放的畜牧业生产新格局。

1. 加强畜牧业污染防治的立法工作

西方发达国家在发展集约化畜牧业时非常重视畜禽场的立法和管理工作。日本在20世纪70年代发生严重的“畜产公害”，此后便制定了《废弃物处理与消除法》、《恶臭防止

法》等7部法律，对畜禽污染管理作了明确的规定，超过一定规模的畜禽场，建场必须通过环境许可；荷兰的畜牧业高度密集，早在1971年就立法规定直接将粪便排到地表水中为非法行为。

在控制和治理畜牧业污染的立法上，我们可以参照发达国家的做法。首先开展较为广泛的畜禽污染调查、监测分析和评价工作，获得基本资料，建立统一的监测指标和评价指标体系，为畜牧业环保工作提供依据。其次应尽快根据畜牧业生产和污染治理的实际情况，针对畜牧业污染物排放标准，制定和健全畜牧业污染防治的相应管理法规，使环境监督管理工作有法可依、有章可循。

2. 加强畜禽场的规划和管理，合理布局畜禽养殖场

适度规模、合理规划是防止畜禽粪便污染的重要途径。一方面小规模分散饲养不仅不利于提高经济效益，而且使污染的面扩大而难以治理；另一方面畜禽场的选址应总体规划，在人口稠密区和环境敏感区应严格限制发展畜禽场，对已有的畜禽场应加强污染治理，并逐步进行搬迁。如英国是个基本无畜产公害的国家，虽然其人口和工业比较集中，但畜牧业远离大城市，与农业生产紧密结合，经过处理后的畜禽粪便全部作为肥料，既避免了环境污染又增加了土壤肥力。要重新审视各省（直辖市）郊区畜禽养殖场的分布格局，下决心关、并、停一批污染严重、规模小、布局不合理的畜禽场。

3. 增加环保投入，采取多种途径提高污染治理能力

目前，畜牧业污染治理工作中最大的困难在于资金短缺。随着畜禽数量及其产生的污染物逐年增多，治理投入在国内生产总值中所占的比重却非常小。例如在整个长江三角洲地区，与GDP相比，现有的环保投资明显偏低。畜牧业作为弱质产业，本身的经济实力薄弱，其环境保护具有明显的外部性，因此国家、市、县（区）、场、社会等各方应采取一定的投融资策略，加大环保投资力度，使之产业化，发展环保这一发展最快、最有前途的产业。

对于新建、改建、扩建畜禽养殖场（区），按《建设项目环境管理条例》进行环境影响评价，充分考虑项目选址对环境的影响，对环境威胁较大的项目坚决控制。详细调查区域内现有养殖场（区）的规模、分布和污染情况，对污染重、影响大的养殖场（区）坚决进行关闭或移址处理。以GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》颁布施行为契机，推动行业污染处理水平，提倡“清污分流，粪尿分离”的处理方法。最大限度地将畜禽粪便用于农业生产，并实现以沼气为纽带的畜禽粪便的多样化综合利用。以无害化、减量化和资源化为目的，研究和开发畜禽粪便的处理和利用实用技术，建立一批污水处理及粪尿综合利用示范试点工程，带动污染处理的发展。

第 12 章　滨江区域水环境保护措施

12.1　截污

众所周知，在水环境保护中，“控源”是根本，但不可能一步到位。“控源”是指对城镇生活污水、工业废水、农业面源与河湖内源四类污染源的控制，其中农业面源污染面广量大，治理难度大，一时难以见效，预防重于治理；河湖内污染源需要实施清淤疏浚；点源污染（城镇生活污水、工业废水）的主要控制措施包括合理布局、清洁生产、达标排放和城市污水处理厂处理。目前我国点源污染尚未全面得到控制，工业达标排放了，但是随着城镇化率的提高，城镇生活污水量逐年提高，以当前的城镇污水集中处理率难以实现区域水环境的长治久安，所以花大力气提高城镇污水集中处理率，加大截污力度是非常重要的。

12.1.1　合理确定污水处理厂建设规模及布局

1. 污水处理厂建设规模

对一个城市来说，需要根据经过修编和批准的城市总体规划及其排水工程规划，分期分批地建设污水管网和污水处理厂，要根据水环境保护的目标和污水处理率，分期实施，逐步到位。首先确定城市污水量，国家已有明确规定，依据《城市排水工程规划规范》，“城市污水量宜根据城市综合用水量（平均日）乘以城市污水排放系数确定”，因此在确定城市污水量之前必须确定城市综合用水量。而作为当前确定城市综合用水量依据的《城市给水工程规划规范》尽管已规定了“人均”用水量指标，但此处所指“人均”是指户籍人口，未包括暂住人口和流动人口，而在之前实施的《城市规划编制办法实施细则》中所指城市人口数除户籍人口外，还包括暂住 1 年的人口及流动人口。

目前许多污水处理厂的建设规模存在偏大的问题。合理地确定城市污水处理厂设计的污水水量和污水水质，直接涉及工程的投资、运行费用和费用的有效性。不少城市由于市区污水管道未形成系统，缺乏长期积累的污水水质、水量资料，一般采取按规划面积、人口和工业发展的预测来推导用水量和污水量，并提出生活污水量，工业废水量和公建、商业污水量各占的比例，其不确定因素较多。因此，提出的设计污水量往往偏大。实际上按规划计算的污水量和根据需要与可能处理的污水量，是不同的。设计的污水量在很大程度上取决于污水管网普及率和实际可能收集到的近、远期污水量，应分期建设污水处理厂，有的埋了干管，支管迟迟未建成，致使许多已建成的污水处理厂，在相当一段时间内“吃不饱”。对设计的污水水质，首先要对现有实测的水质资料进行分析，包括工业废水正在限期达标排放和管渠内地下水的渗入量。现在设计的污水水质偏高的问题是普遍存在的。对雨、污合流的老城区排水系统，需科学地确定污水管道的截流倍数，干管和支管可采用不同的截流倍数。设计的污水水量和污水水质要通盘考虑，留余地过大，既增加投资亦会

使设施设备闲置或低效运行。

2. 污水处理厂布局

我国《城市污水处理及污染防治技术政策》明确了我国城市污水处理及污染防治的技术路线应采取集中与分散相结合的方法，而且强调在城市区域以外或者城市污水收集系统之外的地方，对污水也要实行相对意义的“集中处理”。基于此，目前城市污水处理厂规划应尽量结合现有污水管网系统及污水处理厂的设置，综合考虑城市用地发展规划、近远期建设、污水再生回用的潜在目标、不同布局方式的建设投资比较等因素，积极发展小型、分散污水处理系统，实现集中和分散相结合，按照大、中、小并举的原则规划污水处理厂。

12.1.2 科学地进行工艺方案的比较选择

12.1.2.1 我国城市污水处理工艺分析评价

1. 技术指标评价

(1) 普通污染物去除率：普通曝气工艺、水解—好氧工艺、A/O 工艺、A^2/O 工艺、氧化沟系列工艺、SBR 系列工艺、AB 工艺等，这些工艺效果相差不多，但各工艺在合理的设计下都能够达到出水达标排放要求。

(2) 除磷脱氮效果：A/O 工艺、A^2/O 工艺明显具有优势，氧化沟系列工艺、SBR 系列工艺、水解—好氧工艺、芦苇湿地工艺相对来讲也可以根据实际情况选择采用，AB 工艺、普通曝气工艺在这方面显得相对不足。

(3) 运行稳定性：普通曝气工艺运行稳定性最高，A/O 工艺、A^2/O 工艺、氧化沟系列工艺（除一体化氧化沟）、SBR 系列工艺（除 UNITANK 工艺）、芦苇湿地工艺运行稳定性良好，水解—好氧工艺与 AB 工艺和最近出现的新改良工艺（一体化氧化沟工艺、UNITANK 工艺）运行稳定性尚无确切保证。

(4) 自控要求：氧化沟系列工艺自控水平要求相对低，而 SBR 系列工艺自控水平要求高，普通曝气工艺自控水平要求非常高，因为目前普通曝气工艺主要应用于大型和超大型污水处理项目中的缘故。

(5) 二次污染：除芦苇湿地工艺与自然水体直接相通，容易造成二次污染外，其他工艺基本相差不大，主要是注意污泥处理即可。

2. 经济指标评价

(1) 能耗：各工艺能耗本身相差不大，相对而言，土地处理工艺能耗较低。

(2) 投资：各工艺除芦苇湿地工艺以及 Biolak 工艺和多极 A/O 工艺采用土工构筑物较小外，其他工艺相差不大。

(3) 运行费用：除芦苇湿地工艺外，其他工艺运行费用相差无几。

(4) 占地面积：SBR 系列工艺占地面积最为节省，水解—好氧工艺、A/O 工艺、A^2/O 工艺、一体化氧化沟工艺等占地面积较小，而芦苇湿地工艺占地面积最大。

12.1.2.2 科学地进行工艺方案的比较选择

工艺选择要考虑技术合理、经济节能、易于管理、重视环境等因素。污水处理厂的工艺选择应根据原水水质、出水要求、污水厂规模、污泥处置方法、受纳水体的环境功能及当地温度、工程地质、征地费用、电价等因素作慎重考虑，经全面技术经济比较后优选

确定。

工艺选择的主要技术经济指标包括：处理单位水量投资、削减单位污染物投资、处理单位水量电耗和成本、削减单位污染物电耗和成本、占地面积、运行性能可靠性、管理维护难易程度、总体环境效益等。应切合实际地确定污水进水水质，优化工艺设计参数。必须对污水的现状水质特性、污染物构成进行详细调查或测定，作出合理的分析预测。在水质构成复杂或特殊时，应进行污水处理工艺的动态试验，必要时应开展中试研究。工艺选择应根据当地的具体条件和我国国情确定。

应该看到，同样的工艺，采用的设计参数不同，其结果也是不同的。作为负责任的单位，对工艺方案的比较应力求客观全面，在同等进水、出水条件下，其设计参数应包括对各种污染物的去除率、曝气时间、污泥负荷和容积负荷、曝气量和氧的利用率（及动力效率）、污泥产量（及污泥指数）等作全面分析。数据丰富就可以集思广益，扬长避短。根据技术上合理，经济上合算，管理方便，运行可靠且有利于近、远期结合的原则，进行工艺方案的优化抉择。

12.1.3 重视污水处理厂的污泥处理和处置

城市污水处理厂的污泥是指处理污水中所产生的固态、半固态及液态的废弃物，含有大量的有机物、重金属以及致病菌和病原菌等。不加处理任意排放，会对环境造成二次污染。随着污水处理设施的普及、处理率的提高和处理程度的深化，污水厂的污泥产生量将有较大的增长，由此引起的二次污染问题已不容忽视。

对污泥处理总的要求是稳定化、无害化和减量化。通常把污水厂污泥的稳定和脱水（一般将污泥脱水至含水率70%～80%，便于储运），称作污泥的处理；将处理后的污泥进行填埋、堆肥、干化和加热处理及最终利用，称作污泥的处置。

不认真处置污水厂的污泥，污水处理就是不完整的。可以说，今后我国城市污水处理的进步，在很大程度上取决于污泥处理和处置技术的进步。

12.1.4 污水处理厂的投资和管理问题

1. 投资来源

我国目前要刻不容缓地加大城市污水处理厂的建设力度，但是这样庞大的建设资金只靠地方财政拨款是不够的，因此拓展筹资渠道非常必要。除了地方财政拨款外，还可以考虑民间资本、吸引外资、银行融资。

（1）民间资本。民间资本的投入最直接的就是股票和债券发行的投入方式。将市政债券用于城市基础设施建设国外已有100多年的经验，美国也是世界上发行市政债券最多的国家，发行市政债券量占整个债券市场的14%。

（2）吸引外资。据世界银行统计，目前发展中国家引进外国资本用于基础设施的投资占总投资的12%，但我国仅为7.2%。因此必须营造良好的投资环境以吸引更多的外资。对于竞争性和排他性较弱的污水处理工程，由于投资额大、回收期长，外商对投资回报和投资风险有较大的顾虑。因此，要吸引外资就必须按国际惯例办事，兑现承诺、提高投资人的投资回报并减小投资风险。

（3）银行融资。工程投资可以由市政府以市建设投资公司的名义向国家开发银行贷款，本息归还由政府承担，这种形式既减轻了地方财政压力，又缓和了污水处理的需求

矛盾。

2. 运行管理

为了自觉地形成自我约束机制以加强企业内部管理，提高生产效率，降低成本费用，必须建立充分的市场竞争机制以使污水处理厂摆脱行政垄断。城市污水处理厂运行管理的招标承包可以以跨地区、跨行业的形式出现；明晰产权是城市污水处理厂转制的重要环节；城市污水处理厂的财务管理必须以成本控制为中心；政府管制必须以维护有效竞争为前提。

排水行业主管部门要转变管理方式，从直接管理转变为宏观管理，从管行业转变为管市场，从对企业负责转变为对公众负责、对社会负责。政府的主要职能是创建市场、规范市场和扶持市场。

12.2 调水

12.2.1 国内外有关水资源环境调度的实践和发展趋势

随着人们对生态环境的重视和环境问题的日益严重，充分利用外部水体纳污能力开展河道水质和生态环境改善的水资源调度工作，日益受到人们的重视。实际上全球对水资源的关注最早也是始于对水质的关心。最早通过水资源调度改善河道水质的工作始于日本，日本东京为改善隅田川水质，1964 年从利根川和荒川引入 16.6m^3/s 的清洁水（相当于隅田川原流量的 3～5 倍）；1975 年，日本继续开展河流间的调度，引入其他河流的清洁水净化了中川、新町川、和歇川等 10 条河流，开始了国际上引清调度改善水质的工作。但在国际上更多的是从控制河道流量的方法来确保河道的水质目标引清，如美国、日本、欧洲、俄罗斯等国家在相关法案中均提出维持河道最小流量的生态环境要求。上海市从 20 世纪 80 年代中期开始利用水利工程进行引清调度的实践，开始了我国进行水利工程调度改善水质的先例，随后福州市、苏州市、南京市、杭州市、昆明市和太湖流域等地则陆续开展了各类利用水资源调度改善水质的区域性试验研究和实践，其中最为成功的属福州市的内河调水。而相关的为改善生态环境的调水实践工作也相继展开，如水利部在提出确保“三生”（生产、生活和生态）用水方针的同时，开展了黑河分水、新疆塔里木河调水、黑龙江扎龙湿地补水、黄河调水调沙试验、南四湖生态补水等实践。

目前在我国南方地区，采用水资源调度方式改善水质的实践越来越多，但在理论上的突破还是不大。例如太湖流域开展的“引江济太”工程，也因大量理论研究工作尚未深入，而处于试验摸索阶段。水利部为防止水闸等水工程的不合理启闭导致水资源调度引发水污染问题，专门以水资源［2001］155 号文件的形式下发了“关于加强闸坝调度管理工作的通知”，来加强水资源调度的管理。同时，又明确提出通过水利工程的优化调度改善水环境，是我国“十五”期间的重要水资源保护任务。可见，环境调度已经作为一项十分重要的调度模式在国内外进行实施，但理论研究还不充分，在实践中还存在许多问题，需要不断探索。

引清调度是一种区域性、环境影响渐变性的工程活动，其对于环境的影响是互为基础，互为影响的。引清调度必须以区域自然地理要素为依托，水利工程等社会经济要素为主要控制因素，通过水文系统要素的变化，实现引清调度改善水质的目标。

12.2.2 滨江地区引清调度的水文学机理分析

河流水文是水资源引清调度的重要因素，不仅决定调水的高程、位置、河网库容、可调水量、水质等水文条件，还决定了河流引清调度的经济性，因此河流水文学的研究是十分重要的，它对其他稀释、自净机理和调度方案的优化提供最基本的保障。在水文学的研究中需要采集大量的数据，进行系统分析。水文过程既受确定性因素的影响，又受到随机性因素的影响，是非常错综复杂的过程。因此，水文过程往往采用统计分析的方法对随机过程进行分析，以解决离散数据的分类和特征研究问题。

滨江地区在考虑从外江调水的同时，必须弄清楚外江水位的沿程变化和过境水量、内河控制水位和调蓄库容、主要控制口门（水闸、泵站）特性和引排能力等，估算出区域引、排水量。其中，内外水位的结合是决定性的要素，主要控制口门特性是调度的关键，内河库容则是调度的基础要素。以上问题搞清楚了，才能解决河网调度的水量问题，即能引多少水，什么时候引比较合适。

12.2.3 滨江地区引清调度的水污染物稀释机理分析

稀释是引清调度最主要的机理之一，通过引清调度，能快速稀释降低污染物在水体中的相对浓度，从而减轻污染物在河流中的危害程度。

河流的稀释能力和效果主要取决于河流的水力推动和扩散的能力。污染物进入河流后，由于河水的推流作用而沿河流进行纵向迁移，由于扩散作用而与河水混合。扩散作用包括分子扩散、对流扩散和紊流扩散，其中紊流扩散作用最大。在稀释的过程中，推流和扩散互相影响，使排入河流的污染物达到被稀释的目的。

稀释作用要求稀释水的浓度低于原水，浓度越低，效果越好。张锡辉认为，采用低流量、低浓度进行长期稀释的作用，比集中一段时间高强度稀释的效果好。

实施污染物稀释研究的程序如下：

（1）首先研究区域水体污染水平、污染物排放负荷、区域水质控制目标三大要素。包括分析确定河流污染的主要种类和主要污染物浓度水平；研究区域污染物排放的种类和性质，调查污染物排放总量（污水量 q，主要污染物浓度 C）；根据区域水体功能确定水质控制目标 $C_{\lim}$。水功能区划及其确定的水质目标，是实现区域污染控制的最终目标。

（2）计算排入河流中的污染物达到安全浓度水平需要的河流流量 $Q_{\lim}$，假设沉淀和降解还没有发生或其效应忽略不计，则

$$Q_{\lim}=(C/C_{\lim})\,q \tag{12.1}$$

（3）假设现有河流的流量为 Q_1，则完成稀释需用调度的流量为 Q_s：

$$Q_s=Q_{\lim}-Q_1-q \tag{12.2}$$

污染物流量与参与稀释的河水流量之比称为稀释比，用 n 表示：

$$n=q/Q \tag{12.3}$$

计算出来的稀释水量尚需考虑如何获得，并需进行工程可行性分析，研究现状工况、水情等条件的影响。

12.2.4 滨江地区引清调度的水污染物自净机理分析

根据国内外经验，流动的河流改善水质比污水处理厂效率更高，这不是一般意义上的稀释，是污染物在水体运动中受物理、化学、生物作用而自然减少、消失或无害化的过

程。用河流改善水质比利用高级的污水处理厂的环境费用更省，这是因为提高下泄流量可充分利用河流的自净能力，降低污水处理的程度和级别。用调度增加下泄流量不是代替处理，而是协同处理，是提高环境承载能力。

《中国大百科全书》将水体自净作用分为广义和狭义两类，广义的自净作用是指受污染的水体由于物理、化学和生物等方面的作用，使污染物浓度逐渐降低，经一段时间后恢复到受污染前的状态；狭义的自净作用是指水体中微生物氧化分解有机污染物而使水质净化的作用。

从水体自净机理分析，自净作用主要有三类：

(1) 物理净化。包括污染物由于稀释、扩散、混合、挥发和沉淀等使浓度降低。

(2) 化学净化。污染物由于氧化还原、酸碱反应、分解化合、吸附凝聚等物理化学过程使浓度降低。

(3) 生物净化。由于生物活动引起污染物浓度的降低，其中尤以水中微生物对有机物的氧化分解作用最为重要，又称生物净化作用。狭义的自净作用即指生物化学净化。

上述各类净化过程同时发生、相互影响，并交织进行，不断地改变着水体的各类物理、化学和生物过程，使水体不断得到净化。

影响河流水体自净过程的因素有很多，主要有：

(1) 水体的水文条件。如水温高时，有机物的氧化分解过程强度就大，速度也快；流速、流量的大小影响到紊流强度及稀释、扩散，以及与水体表面有关的气体交换（复氧）；水中的含沙量则影响污染物的吸附与沉淀。

(2) 污染物的性质和浓度。如易分解或难分解；浓度高或浓度低，对水体自净作用的影响均不同。

(3) 水生生物特别是水中微生物的种类和数量。水体中分解污染物的微生物多，水体自净作用就快。当水体污染严重，微生物受抑制或引起大量死亡，自净作用就会下降。

(4) 水体周围的环境条件。如复氧（大气中的氧接触水面融入水体）状况等。

上述影响因素分析表明，通过引清调度改变水体的水文条件，可提高水体的自净能力，从而加快水体的自净。在水体污染严重时，适当提高水体的流动性，降低水体污染浓度，可使水体恢复良性循环的能力，加大微生物菌群的自我繁殖，最终提高水体的自净能力。

12.2.5 对滨江地区引清调度的思考

对于滨江地区引清调度，应当从以下方面进行全面客观地认识和评价。

(1) 在水质型缺水区，引清调度工程有其特殊的现实性和紧迫性。例如太湖地区，用水量比当地水资源量要大得多，按照我国现行的污水排放标准，该地区即便是全部排污口都实现达标排放，区域水质也不一定能达到水功能区水质标准。因此要从根本上解决这类地区水污染问题，不仅要大力节水，减少废污水排放量，还要加大治污力度并提高排放标准。而上述两种措施一方面需要大量的投资，另一方面也需要兴建一些必要的工程，以及进行大量技术工艺改造的过程，很难在短时间内得到根本解决。而现实情况是，水污染造成的缺水问题已经制约着当前社会经济的发展，甚至影响基本的生活用水安全。因此，在污染治理短期难以有效改善水质的情况下，滨江地区利用引外江水来缓解区域缺水问题，

提高用水水质安全，有其现实的必要性和紧迫性。

（2）调水工程有其自身的阶段性。水质型缺水地区的缺水问题的根本解决途径在于水污染的防治，调水工程是特定时期、特定背景下的一类水资源配置手段，通过这一手段实现阶段性的区域水安全保障，同时也给区域水污染的综合防治创造必要的外在环境和赢得必要的时间，因此调水工程实施有其自身的阶段性。从概念上讲，解决水污染问题的根本办法应该是污染防治，包括立法、治理、清洁生产和循环经济、生态工程和生态恢复等方面，解决生活用水水质安全问题的根本出路也应该是治污，而不是调水。如果我们用实施调水的办法来解决水污染引起的缺水问题，从客观上就会助长水质污染问题的加剧，减缓治污的进程。但是，人民群众缺少安全饮用水也是客观事实，如果兴建调水工程能够解决群众的生活用水问题，也必须加以考虑，前提是调水工程的兴建必须经过科学的论证。

（3）密切关注调水区、水量通过区和受水区的环境问题。对于调水区，通常要求调水区的水质优良。如果调水区已受污染，则应先治污后调水，并采用适当的水源保护措施，防治水源污染。即便如此，调水区也会因水量调出而产生以下环境问题：调水将不同程度地影响水源局部地区的气温升高、水温升高、水质恶化、泥沙淤积，水生生物发生变迁，破坏自然景观；调水有利于减轻水源下游地区的洪涝灾害，但也会因下游水量的减少而导致下游河道的航深降低，河道冲淤规律变化，生物多样性消失，已有水利工程设施功能降低甚至失效，农业灌溉面积减少；若引水口距河流入海口较近，还会改变河口水位，导致河口泥沙淤积，增加海水（盐水）入侵，引起河口与近海的生态系统变化；若从某流域的支流引水，则可能因该支流汇入干流的水量减少，导致支流受干流河水顶托而排污能力下降，在支流出口处发生水质恶化等。

对于水量通过区，利用天然河道输水和湖泊调蓄，将改变原河流和湖泊的水文、水力特征。大型渠道输水有利于发展航运，改善自然景观。输水沿线水量的增多，可能使水生物和鱼类的数量、种类增多。输水沿线水量的增加，一方面有利于改善沿线的水质环境；另一方面，如果输水沿线存在水污染源且向输水渠道或河道排放，将会导致调水量受到污染。输水沿线若存在膨胀土、滑坡、断层、地震多发区等不良地质条件，则容易导致渗漏和崩塌，甚至诱发局部地震，给沿线的生态环境造成较大破坏。当输水线路经过较强暴雨区时，可能产生调水区与通过区或受水区之间的洪水遭遇，形成更大的洪涝灾害。当输水线路与地表水流向或地下水流向正交时，则可能因阻止了地表水或地下水的出路而导致洪涝碱灾害；输水沿线的输水渗漏，一方面有利于抬高地下水位、缓解输水沿线的供水紧张状况；另一方面也可能导致土壤次生盐碱化。当输水线路经过人口稠密地区时，一方面可为居民增加新水源和风景区；另一方面也会导致大量移民和工矿企业及城镇的搬迁。输水工程施工时，会引起输水沿线的地貌与生态景观改变和环境污染等。

对于受水区，通常规划管理合理的调水工程，常常会给受水区带来明显的环境效益。如：可为受水区的工业、生活用水提供新的水源，可使生态环境系统得到改善，防止地下水过量开采，促进工业和城市的发展等。但如果规划管理不合理，也可能会因水量的增多而导致一些不良影响。如：地下水位过度升高，引起土壤次生盐碱化；使低洼地区引起土壤潜育化和沼泽化；引起细菌、病毒通过水媒介蔓延，如水域扩大有利于蚊虫孳生，引起疾病流行；在钉螺孳生地区，钉螺随水迁移可能导致血吸虫病扩散等。

（4）加强水量水质监测和科学调度，建立统一的领导机构。为了开展水量水质联合调度以及科学评价调水效果，需加强水量水质监测。调水工程的社会效益、经济效益和环境效益是通过科学调度来实现的。如果工程调度不合理，不是导致污水肆意扩散蔓延就是增加地区防洪压力和洪涝灾害风险，给社会带来不良影响。不坚持长期运行调度，水环境改善的程度和效益就不明显；不进行统一的调度和管理，洪水资源的价值就不能体现，也就失去了以动治静、以清释污、以丰补枯的本质含义，更不能使水利工程的优势得到充分发挥。

调水涉及的部门很多，主要有水利、环保、航运、电力等部门，有些大流域调水还涉及各个省市，在流域治理，尤其是水环境保护上缺乏统一管理，因此，要完成国务院确定的水污染治理目标，使各地各部门各施所长，协调、合作，实现集中管理与职能部门密切配合的管理体制尤为重要。

（5）开展专题研究工作，制定科学的调水方案。虽然目前各滨江地区的水利部门在探索和实施调水过程中取得了一些初步成果，但调水试验本身就是一项非常复杂的、涉及很多部门的系统工程。通过水量水质实时调水试验，跟踪监测河湖水量水质变化以及污水的迁移情况，要解决引水与防洪排涝的关系、引水与污水出路的关系、引水与周边区域用水的关系、调水能力和效果评价等关键技术问题，探讨引水长效运行管理模式，合理确定调水工程的规模，还有许多实践和理论方面的课题需要我们去探索、研究。

此外，鉴于部分地区水资源工程体系尚不完善，部分闸站设施、设备老化及不配套的现状，应尽快更新换代，并通过调水试验，进一步实现蓄泄兼筹、完善提高、科学调度，综合考虑水资源利用、水环境保护、航运以及城市供排水等方面的效益，完善防洪和水资源工程配套体系，为滨江地区的经济社会可持续发展创造条件。

12.3 生态清淤、生态修复和优化水系整治河道

12.3.1 生态清淤

1. 生态清淤的意义和特点

河道淤积不仅降低了水的流动性，导致水体的自净能力下降，更为重要的是淤积的底泥是河道的内污染源，即使外源污染得到控制，内源污染的存在仍然威胁着水环境，所以河道清淤的工作势在必行。

为了最大限度地清除被污染的底泥，清除污染水体的内源，尽可能地减少施工中带来的二次污染，生态清淤应运而生。生态清淤以清除淤泥中富含的污染物质和营养物质，减少淤泥中污染物和氮、磷营养元素的二次释放，达到改善水环境的最终目的。生态清淤不同于一般为防洪、航行增加水深而进行的疏浚，不是清除了一定数量的淤泥就算完成清淤任务，若清淤的深度不够或回淤量较大，改善水环境的效果就很小，甚至没有改善水环境的效果。

在生态清淤的过程中，首先要确定污染内源，分析其特点，在清淤完成后，要合理处置污染底泥，不让污染物流失，不让污染物产生二次污染，这也是实现环保疏浚的目的之一：尽可能减少施工中带来的二次污染。

2. 河道的生态清淤

平原河网内河道的生态清淤，原则上每条人工开挖河道应进行全面彻底的清淤，更要

重视小河道、断头浜的清淤。但自然生长或人工种植沉水植物、挺水植物的区域一般不清。

最佳的河道生态清淤方式是筑坝抽干水彻底清淤，没有回淤。特别是小河道、断头浜和非航道的河道均应如此，凡是适宜采用此类方法的河道全部应采用此法清淤。河道筑坝抽干水后，清淤方法可以是人工、采用机械设备或两者相结合。河道生态清淤其次是采用机械设备清淤。在不能够实施筑坝抽干水彻底清淤的河道，应采用合适的水下施工的机械设备清淤。选择清淤机械设备的原则是：尽量不搅浑水和清淤后的回淤量相对较小。

3. 选择和管理好堆泥场地

堆泥场地一般选用废弃的鱼池、荒地、滩地。堆泥时要筑好围堤，以防堆泥场地多余泥水的流出，若流出的泥水很多，则需要设置沉淀池和在出水口加装滤水装置或设施，确保流出泥水中的污染物含量较少。堆泥过程结束后，淤泥堆土区要统一规划，加强对堆泥场地管理，在其面上种植植被覆盖、绿化或复垦，减少雨水淋溶，以免造成堆泥场地对水体的再次污染；有条件的可进行资源化利用。

当然，我们不能就河道清淤而清淤，清淤只有实行综合整治，走可持续发展的道路，才能步入良性循环。除了把河道清淤与环境整治相结合外，若再同土地开发利用、农副业生产等结合起来，进行立体开发，综合效益会更好。一是把河道清淤同土地复垦积肥结合起来，既清淤了河道，又增加了耕地面积，整理了田容田貌，一举多得。此外，河泥是很好的肥料，对改善土质、节省化肥施用量作用明显。二是把清淤河道同水产养殖、经济作物种植结合起来，既增加了经济效益，又保护了生态环境。

12.3.2 生态修复

对生态修复进行准确、全面的定义非常困难，目前为中外学者所普遍接受的一个定义是：恢复被损害生态系统到接近于它受干扰前自然状态的管理与操作过程，即重建该系统干扰前的结构与功能及有关生物、物理、化学特征，通常被认为是生态系统完整性恢复与管理的一个过程。

12.3.2.1 控制外源性营养物质

滨江地区河道水质恶化主要是外界输入的大量营养物质在水体中富集造成的，切实控制外源性营养物质的输入，是河道水体生态修复的重要前提。世界上一些发达国家进行河道治理的经验表明，要发挥河道的生态功能，控制污废水直接排放入河是减轻河流污染的根本措施。

除了城市内污、废水要集中处理外，还可以构建生态河堤。生态河堤把河堤由过去的混凝土人工建筑改造成为水体和土体、水体和植物或生物相互涵养，适合生物生长的仿自然状态的护坡。修建生态河堤，恢复河岸水边植物群落与河畔林，已成为国际上河堤建设发展的总趋势。

12.3.2.2 控制内源性营养物质

1. 生化处理技术

(1) 光催化降解法。通过在水中加入一定的光敏半导体材料，利用太阳能净化污水，提高效率。这种技术虽然见效快，但成本较高。

(2) 杀菌除藻。利用化学药品（如硫酸铜）来控制藻类是一种快速有效的传统除藻方

法。但是化学除藻只能作为一种应急措施，并不能将氮、磷营养盐移出水体，不能从根本上解决水体的富营养化问题。死亡藻类也会引起二次污染，因此要及时打捞死亡的藻类。

（3）沉淀钝化。磷的沉淀和钝化可以延缓内源性磷从底泥中的释放。沉淀技术发挥作用较快，但一般只作为临时措施使用。研究表明，升高温度、厌氧状态、酸性或碱性条件能促进底泥磷的释放。因此这种技术最大缺点是易受 pH 值的影响，一般控制在中性条件。

2. 生物强化修复技术

（1）人工曝气技术。人工曝气是治理污染河道较多采用的措施之一，曝气能加快水体中溶解氧与臭污物质之间氧化还原反应的速度；能提高水体中好氧微生物的活性，促进有机污染物的降解速度。人工曝气一般是作为已经治理过河道中的应急措施或者用于加快对污染河道治理的进程。

（2）水生植物修复技术。利用适合相应河道水体环境的水生植物及其共生的微环境，来去除水体中的污染物质。水生植物和浮游藻类在营养物质和水能的利用上是竞争者，它有效抑制浮游藻类生长。人为创造一定的条件，构建适合水体特征的水生植物群落，能有效降低悬浮物浓度，提高水体透明度及溶解氧，为其他生物提供良好的生存环境，改善水生生态系统的生物多样性。但水生植物有一定的生命周期，应适时适度收割调控，借以提高生物营养元素的输出，减少自然凋落腐烂分解引起的二次污染。

（3）水生动物修复技术。水生动物包括浮游动物、游泳动物和底栖动物，它们以水体中的游离细菌、浮游藻类、有机碎屑等为食，可以有效减少水体中的悬浮物，提高水体的透明度。通过定期对游泳动物和底栖动物进行打捞，可以防止其过量繁殖造成的内源污染，同时也将已转化成生物有机体的有机质和氮、磷等营养盐从水体中彻底输出。

（4）生物膜处理技术。生物膜处理技术是指利用天然材料（如卵石）、合成材料（如纤维）为载体，在其表面形成一种特殊的生物膜，生物膜表面积大，可为微生物提供较大的附着表面，有利于加强对污染物的降解作用。利用生物膜自净原理在河道内铺设一些卵石，进而改变水环境生态链结构的单一性。生物膜技术具有较高的处理效率，对于受有机物及氨、氮轻度污染水体有明显的效果。

（5）生物浮床技术。人工构建生物浮床为水生植物、水生动物提供生存环境，按照自然界本身的规律，消减水体中污染物质，从而达到净化水质的效果。在河道断面比较小的水体中局部种植各种适宜的陆生植物和湿生植物。在美化、绿化水域景观的同时，通过根系的吸收和吸附作用，吸收水体中的氮、磷等元素，并通过收获植物的方式将其带离水体，从而达到净化水质、改善景观的目的。

12.3.2.3 改善滨水环境

水域及其周边的陆域对于水体的水资源保护与水污染防治也是很重要的，水域是水污染防治的主体，陆域也是不可少的一部分，特别是水生态修复要兼顾水域和陆域。改善滨水环境，包括生态护岸和滨水景观绿化带，这和水域的生态修复是连在一起的，要统一规划、统一实施。

1. 改造整治和建设河湖生态护岸

生态护岸要考虑护岸的安全性、耐久性、坚固性、实用性、观赏性、亲水性和自然性，单一的折线型直立式河道护岸不能够满足生态护岸的要求。在确保护岸安全性、稳定

性条件下，要增加护岸衬砌物的孔隙率和透气性，如采用多孔混凝土、无砂混凝土、干砌体等，以有利于微生物生长和提高水体净化能力。受航行影响不大的湖泊护岸和无航行要求的河道，尽量采用原生态的自然形式的植被护岸。生态护岸同时要满足防洪排涝、调水、航行、生态环境的要求，要与美好的城市形象或新农村布局相协调。护岸同时要符合人们的休闲和观赏要求。整治护岸同时要与整治和封闭排污口相结合，要与滨河、滨湖的绿化美化相结合。

2. 建设滨河、滨湖（水库）景观绿化带

景观绿化带需与现代城市和人居环境相适应。城镇以景观为主，景观绿化并重；农村以建设绿化带和生态防护带为主，兼顾景观，以树为主，树草结合。城镇景观绿化带要逐条河道设计不同品味。建设景观绿化带要充分注意搞好水土保持，拦截、滞留和减小地面径流。

景观湖泊（水域）要有良好的总体水环境效果。通过控制污染源、清淤、调水、生态修复、建设生态护岸、景观绿化带等措施使景观湖泊（水域）不仅有良好的陆域景观，同时其水域必须有良好的水质和环境，成为景观绿化与生态修复、湿地保护为一体的生态区域，满足市民和游客现代生活、旅游、观赏的需要。

12.3.3 优化水系整治河道

优化水系和整治河道具有综合性效果，有利于供水和调水、防洪排涝、航行，有利于控制或减轻内、外源污染，有利于增加自净能力和环境容量，改善水环境，并有景观作用。

优化水系整治河道首先要优化调整水系，适应城市乡村发展的需要；其次要调整河道各要素，做到整治好一条河道，改善好一条河道水环境，形成一条风景带。

优化水系整治河道必须与流域的总体规划相协调；以现有的水系框架为基础，建立合理的骨干河道框架及其相应的河网；不缩小河网的水面积率；满足水资源供给、防洪排涝、生态调水改善水环境、航行的要求；满足生态、旅游、风景观赏的要求；与城市改造、城镇建设和房地产开发紧密结合；与农村城市化和农业结构的调整紧密结合；与清淤、整顿和封闭排污口、建设生态护岸、建设两岸景观绿化相结合。

12.4 水安全应急体系研究

近年来，我国接连发生多起突发性水污染事故，严重影响当地人民生活、社会稳定和经济发展，如2005年11月中下旬发生的震惊中外的松花江水污染事件；2004年2～3月四川省沱江的化工产品入江事件；2002年11月陕西省延河油污染事件。在所有突发污染事故中，水污染事故占了一半以上。面对日益稀缺的水资源，如何在事故发生时及时控制污染，保障用水安全，将损失降至最低程度是我们应该思考的问题。因此建立突发性水污染事故预警应急系统显得尤为重要。

12.4.1 突发性水污染事故的特点

突发性水污染事故主要是由水、陆交通事故，企业排放和管道泄漏等造成的，其特点表现为不确定性、扩散性、处理的艰巨性和影响的长期性。

1. 不确定性

(1) 发生时间和地点的不确定性。引发突发性水污染事故的直接原因可能是水上交通事故、企业违规或事故排污、公路交通事故、管道破裂等造成的，这些事件发生时间和地点的不确定性，决定了突发性水污染事故的不确定性。

(2) 事故水域性质的不确定性。水域可以分为河流、水库、湖泊、河口、海洋和地下水等类型，还有洪水、潮汐、风浪等瞬时水文变化。

(3) 污染源的不确定性。事故释放的污染物类型、数量、危害方式和环境破坏能力的不确定性。而污染源的这些数据对于应急救援而言是极为重要的，也是水污染事故模拟的基本参数。

(4) 危害的不确定性。同等规模和程度的水污染事故，造成的污染危害是千差万别的，如污染事故发生地点距离城市水源地很近，城市供水就会中断，其后果将是灾难性的。

2. 扩散性

水体的流动性决定了污染物在水中的扩散性。水域的水流状态直接影响污染物的扩散方式和扩散速度。水域的不同类型和水文变化也影响着污染物的扩散。水体被污染后呈条带状，线路长，危害容易被放大。由于污染物随流输移，造成事故现场的不断变化，在输移扩散的过程还可能因为各种水力因素的作用产生脱离，出现多个污染区域。这直接造成了应急主体不明确。例如污染事故发生在两个地区交界的地方，按照快速响应的原则，就近的基层组织或企业应快速组织起来处理事故，但由于协调权力在上一级组织，经过若干次的通报、请示、指示程序，可能已经错过最佳的处理时间。

3. 处理的艰巨性和影响的长期性

突发性水污染事故处理涉及因素较多，且事发突然，危害强度大，必须快速、及时、有效地处理，这对应急监测、应急措施要求更高、难度更大。污染事故得到控制后，对当地的环境和自然生态造成严重的破坏，甚至对人体健康造成长期的影响，需要长期的整治和恢复。

12.4.2 我国突发性环境污染事故高发的原因

1. 经济发展水平决定了我国正处在突发性环境污染事故高发期

安全生产具有一定的周期性和规律性，人均 GDP 在 1000～3000 美元，一般为事故多发阶段。我国 2004 年的人均 GDP 为 1269 美元，到了 2020 年才能达到 3000 美元。因此，目前我国正处在事故多发阶段。

2. 体制不顺造成环境管理执法难严

目前，地方人民政府对地方环境质量负责，环保主管部门隶属当地政府，很难对地方人民政府进行有效的监督，行政干预在环境监督管理过程中普遍存在，地方保护造成环境管理违法难究。同时，现行体制按照“属地原则”设立环保部门，注重行政区域管理，忽视了流域管理。除水行政主管部门、环保部门外，交通、卫生、地质矿产、市政管理部门和重要江河的水源保护机构都是水环境保护的协管部门，在流域的管理中存在“各部门都管”重复管理和“各部门都不管”的管理真空现象，没有一个专门的机构对流域的环境质量负责，造成流域的环境管理执法不严。

3. 环保执法中的“两高一低”造成企业有法不依

所谓环保执法中的“两高一低”是指环保守法成本高，执法成本高，违法成本低，这是对违法违规排污行为的纵容和支持，导致企业有法不依，宁愿缴纳排污费，也不愿投资建废水处理设施。环保执法常常陷入“排污—查处—罚款—继续排污—继续查处—继续罚款—再继续排污”的轮回。在这种怪圈中，执法不断，罚款不停，但排污不止。当排污量超过当地水体纳污能力时，就有可能引发突发性环境污染事故。

12.4.3 预警应急体系研究

突发性水污染事故预警应急系统是一个完整的体系，包括事故预警、事故应急和计算机辅助决策系统。

12.4.3.1 预警机制

突发性水污染的预警机制主要包括危险源辨识和风险评价。

1. 危险源辨识

突发性水污染事故的危险源主要有运动源、固定源和面源，对于特定水域的危险源辨识，必须对周围的环境进行详细调查，列出该水域的危险源。

2. 风险评价

风险评价是对危险出现可能性的评价。突发性水污染事故的风险评价包括危险源风险评价和事故发生后环境因素对其发展影响的风险评价。危险源风险评价方法有模糊评价法、概率评价法、指数评价法等。环境因素风险评价，主要是评价水文、河道地形和河流控制性等要素对污染事故发展的影响。

12.4.3.2 应急机制

1. 应急原则和任务

水污染事故多数是上游发生而下游发现，应急救援的最初响应者不明确，控制污染源与应急救援相对独立。应急救援应以“确定源头、集中指挥、发动基层、快速响应和流域协同控制”为原则。应急救援工作的主要任务是人员救护、应急监测、应急处理、信息发布、调查事故等。

2. 应急组织机构

突发性水污染事故的应急工作需要强有力的应急组织机构负责执行，其组成如图12.1所示。

3. 制订应急预案

为了在发生突发性水污染事故时能及时、有效地开展应急救援工作，控制污染源，抢救受害人员，指导应急人员开展工作和消除事故后果，应制定详细、科学、可行的应急预案。应急预案应包括组织机构及其职责、危险辨识、风险评价、通告程序、应急能力和资源、信息公开、事故恢复、培训与演练、应急预案维护等内容。

4. 应急监测

应急监测的目标是采用快捷、有效的应急监测布控技术，迅速、准确地查明污染的来源、种类、程度、范围，为控制污染蔓延，采取应急处理措施提供正确的信息和依据。由于突发性水污染事故的不确定性，可能未知污染物、污染源、污染范围、污染程度，应急监测需要制定各种监测方案应对各种情况。

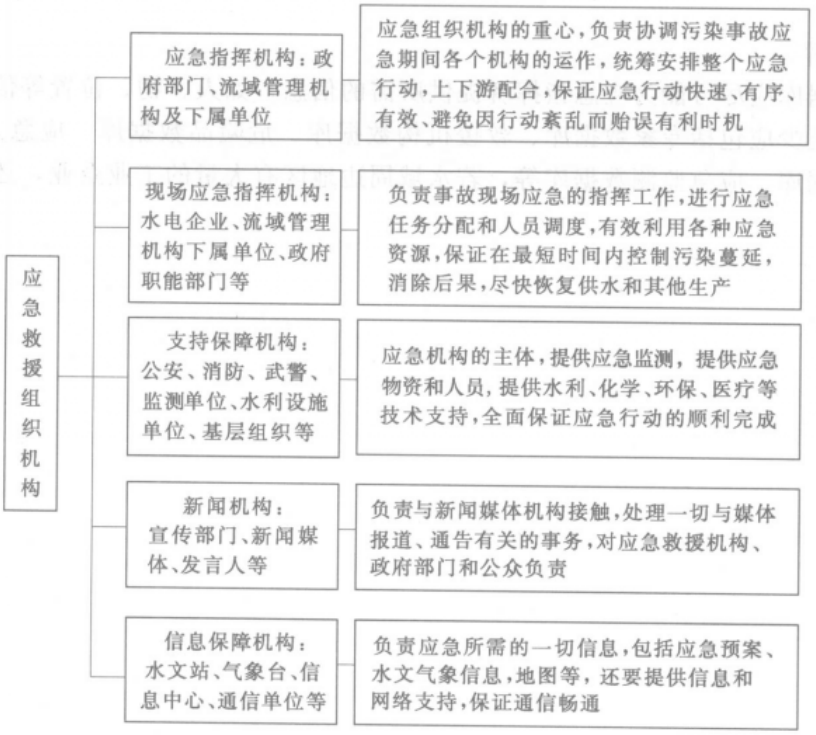


图 12.1　突发性水污染事故应急组织机构结构

5. 应急处理方法

突发性水污染事故的应急处理方法有人工（工程）处理法、化学处理法等。人工处理法是将污染物（如燃油、未破损包装的有毒物质）清理及打捞出水或进行拦污隔离等，必要时可采用修筑丁坝、导流堤、拦河坝、围堰等工程措施，改变原来的主流方向和流场，防止污染向外扩散。化学处理法是在污染区域抛洒化学药剂，减轻和净化污染水域。常见的化学处理方法是根据污染物的化学性质确定，酸性物质用碱性物质来中和，如硝酸、硫酸用氢氧化钠处理，氰化物用漂白粉、次氯酸钠处理等；碱性物质用酸性物质来中和；利用氧化还原反应，如用硫化钠处理六价铬；利用絮凝剂、分散剂、消油剂等加速沉降、分解，防止污染物扩散。

12.4.3.3　计算机辅助决策系统

突发性水污染事故的发展瞬息万变，必须及时有效地控制事态发展，遏制事故快速蔓延。利用计算机系统、计算技术和地理信息系统技术，建立突发性水污染事故预警应急系统，能为应急工作提供强有力的决策支持。

1. 事故模拟

事故模拟是为了反映水污染状况及其随时间的变化过程，直观地表达事发地及其污染水体的地理位置及其空间变化情况，尤其是受害对象与污染事故发展的时空关系。事故模拟往往需要确定的参数，如污染物的数量、密度、降解系数、污染位置、水位、流量等，但实际上，多数数据是第一时间无法得到的，因此在参数选择时，可以对事故进行初步判断，选择若干组数据进行计算，根据结果选出最不利、一般、最乐观 3 种情况供应急决策

参考。

2. 数据库

系统数据库应尽可能为应急指挥者提供所需的信息，如人、物、位置等信息，因此应急预警系统至少应包括专家数据库、救援机构数据库、危险品数据库、应急人员数据库、监测方法数据库、应急监测数据库等，若水域周边地区有大量的工业企业，还应设计污染源数据库。

第 13 章　滨江区域水环境保护案例分析

13.1　截污改善水环境案例分析

13.1.1　截污改善水环境质量案例分析——以太仓城区为例

太仓市位于江苏省东南部，地处长江河口段右岸、太湖流域东部，东濒长江，位于苏州市区东北部，西连昆山市，北接常熟市，南与上海市宝山区、嘉定区接壤，如图 13.1 所示，太仓地理位置优越，处在江苏省沿江城镇聚合轴上，是上海都市圈和苏锡常都市圈的重要组成部分。本文研究截污改善太仓城区水质的效果，太仓城区主要河道及监测断面如图 13.2 所示。

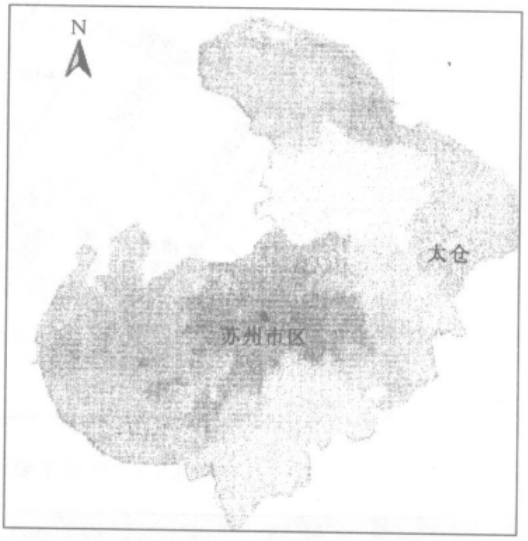


图 13.1　太仓市地理位置示意图

13.1.1.1　太仓河网区水环境数学模型建立及率定

2004 年 4 月 21 日 12～24 时，在太仓市进行了原型调水试验，城区内监测断面布设如图 13.2 所示，并建立及率定了以圣维南方程组和河网对流传输移动方程组为基础的太仓河网区水环境数学模型。

13.1.1.2　截污改善太仓城区水质分析

截污是根本改善城区水环境的方法，且效果明显，但可操作性难度较大，因为城区建筑物较多，截污管网建设滞后，而且建设资金、拆迁量较大，很难在短期内根本解决，需较长的时间周期。

1. 太仓城区主要断面水质改善分析

本文对太仓市城市生活及工业污水截污进污水处理厂后对城区水环境的改善效果进行了计算。为了便于比较，计算采用的水文条件、水质边界条件与原型野外实验的一致。各断面在截污前的水质变化过程线如图 13.3～图 13.8 所示，各断面在截污前后的水质直方图如图 13.9（图 13.3～图 13.9 中北城河人民路桥、郑和东路大半泾桥、盐铁塘武家桥、致和塘武陵街桥、桃源路桥和古塘河古塘街桥断面在图 13.2 中的断面号依次为 9～14）如图 13.9 所示：河道平均改善值为 2.0mg/L，截污后古塘河水质改善最明显，改善值为 4.6mg/L。

2. 太仓城区重点河段水质改善分析

（1）府南区河段。主要采用团结河自引和团结河泵站抽引两种方案进行府南区水质改

善分析。方案 1 为团结河自引，此时采用的流量为本次野外实验实测值；方案 2 为团结河泵站抽引，此时抽引的流量为 4.0m³/s。两种方案下府南区不同截污率与水质变化关系线如图 13.10 所示。

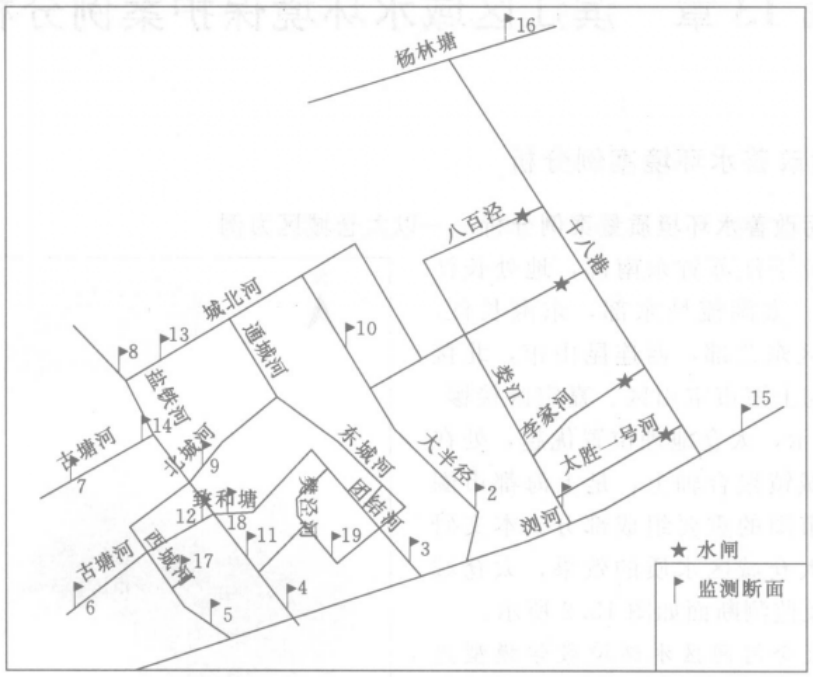


图 13.2　城区主要河道及监测断面示意图

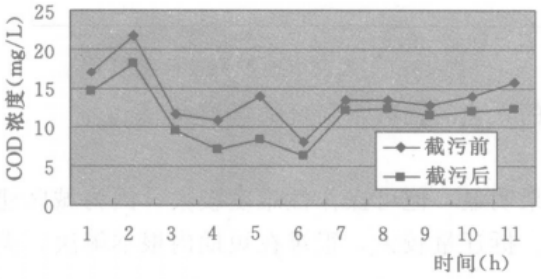


图 13.3　北城河人民路桥水质变化过程线对比图

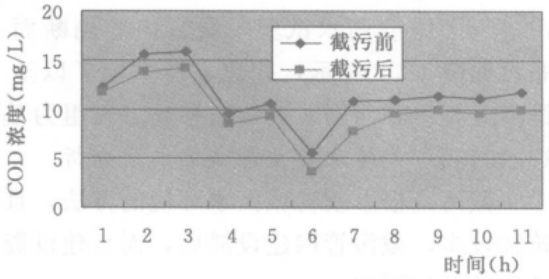


图 13.4　郑和东路大半径桥水质变化过程线对比图

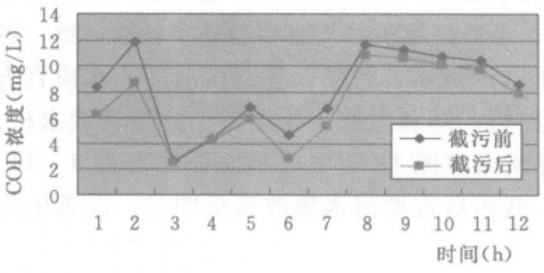


图 13.5　盐铁塘武家桥水质变化过程线对比图

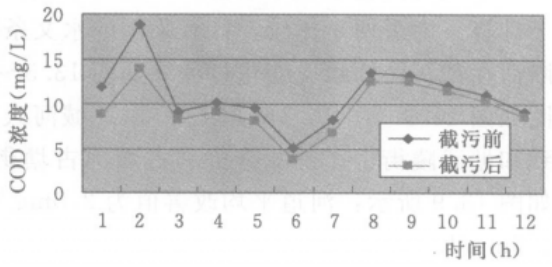


图 13.6　致和塘武陵街桥水质变化过程线对比图

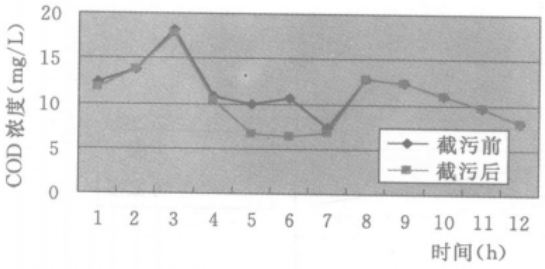


图 13.7　桃源路桥水质变化过程线对比图

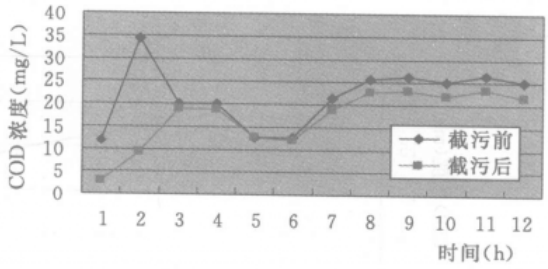


图 13.8　古塘河古塘街桥水质变化过程线对比图

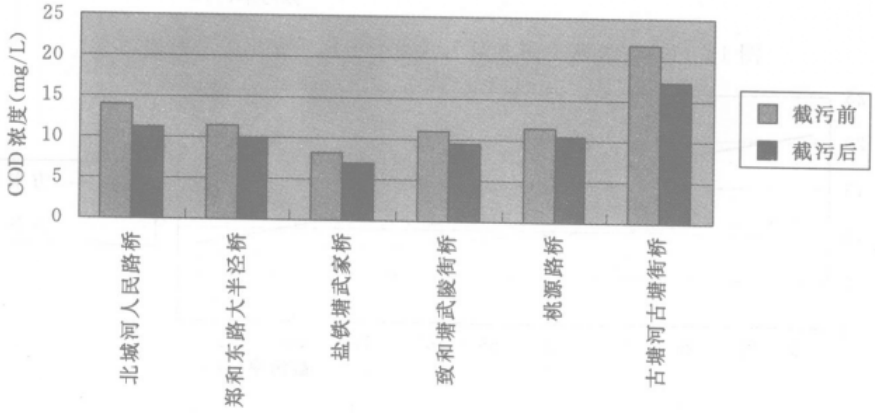


图 13.9　监测断面水质对比图

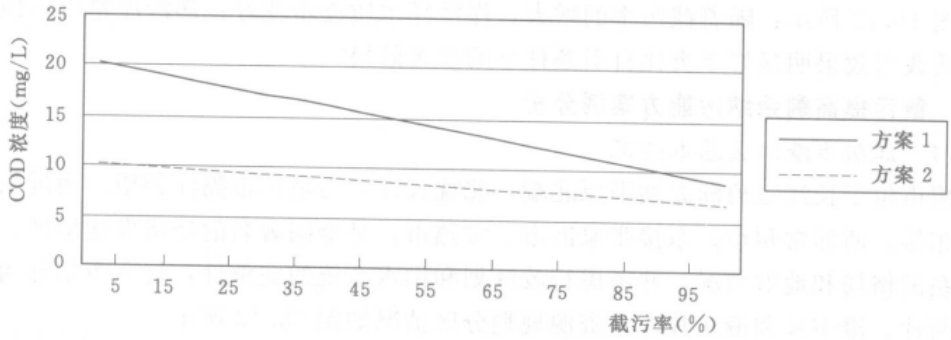


图 13.10　府南区不同方案下截污率与水质变化关系对比图

如图 13.10 所示，随着截污率的增大，府南区水质逐步变好；团结河泵站抽引时的水质改善效果明显好于自引条件下的改善效果。

（2）古塘河河段。主要采用古塘河现状自引流量和古塘河整治后预测流量两种方案进行古塘河水质改善分析。方案 1 为古塘河现状自引流量，此时采用的流量为本次野外实验实测值；方案 2 为预测流量。两种方案下古塘河不同截污率与水质变化关系线如图 13.11 所示。

如图 13.11 所示，随着截污率的增大，古塘河水质逐步变好；古塘河整治后预测流量时的水质改善效果明显好于自引条件下的改善效果。

（3）洋沙泾河段。主要采用洋沙泾类比自引流量和洋沙泾整治后预测流量两种方案进行洋沙泾河水质改善分析。方案 1 为洋沙泾类比自引流量，此时采用的流量为本次野外实验类比值；方案 2 为预测流量。两种方案下洋沙泾不同截污率与水质变化关系线如图

13.12 所示。

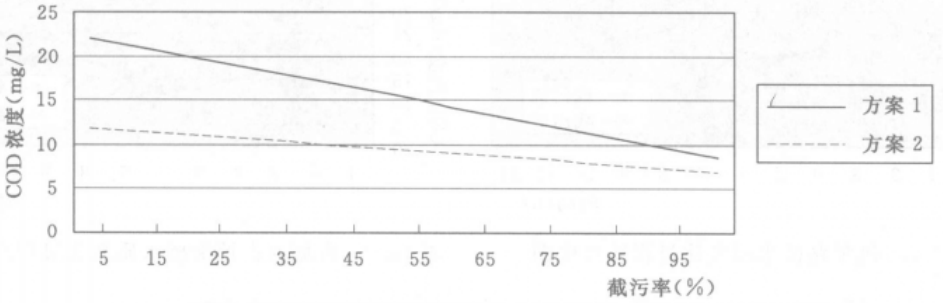


图 13.11　古塘河不同方案下截污率与水质变化关系对比图

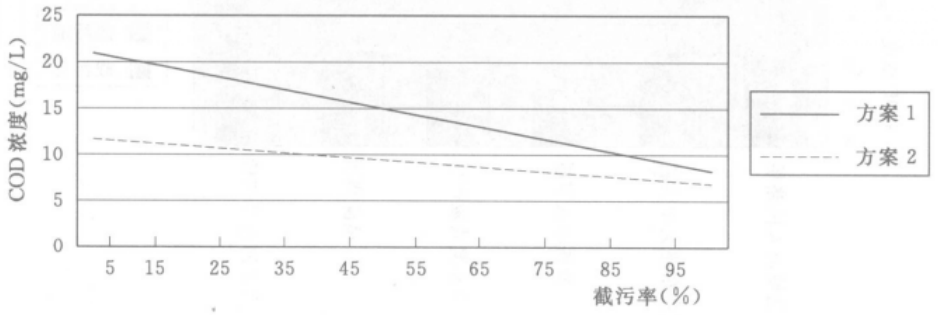


图 13.12　洋沙泾不同方案下截污率与水质变化关系对比图

如图 13.12 所示：随着截污率的增大，洋沙泾水质逐步变好；洋沙泾整治后预测流量时的水质改善效果明显好于类比自引条件下的改善效果。

13.1.2　截污提高剩余纳污能力案例分析

13.1.2.1　江阴市澄江区基本情况

江阴市位于长江三角洲太湖平原北端，北枕长江，与靖江市隔江相望；南近太湖，与无锡市相接；西邻常州市；东接张家港市、常熟市，是全国著名的经济发达地区。按照江阴市水系的格局和地形情况，并考虑行政区划和供水系统的完整性，将全市划分为 3 个分区，澄西片、澄中片和澄东片。水资源规划分区情况如图 13.13 所示。

本文中的澄江区为长江以南，锡澄运河以东，黄山港以西，兴澄河以北的区域，该区域隶属澄江镇，其中应天河以北区域属于江阴市的老城区，由于该区域人口密度较大，导致其水环境问题较为突出。

本文对该区域分为两个片区进行截污改善水环境方案分析。第一个片区为南门闸以北区域，为长江以南，锡澄运河以东，黄山港以西，南门闸以北区域，如图 13.14 所示。南门闸位于东转河上，其作用主要是为引长江水改善老城区水环境服务，同时防止运粮河附近的污水倒灌回老城区，但是把污水排向了应天河。随着工业企业逐步迁出老城区，南门闸以北片区工业企业较少，主要污染源为城市生活污水，从黄山港引水能够暂时改善该区域水环境。第二个片区为南门闸以南区域，位于锡澄运河以东，兴澄河以北，主要为南门闸、工农河南闸和应天河西控制闸之间的区域。当泰富兴澄特钢向工农河排放温废水时，工农河南闸关闭，防止废水流回兴澄河。由于运粮河附近污染严重，其污水通过应天河进

入此区域，再加上河道状况不容乐观，此区域的水环境状况不理想。

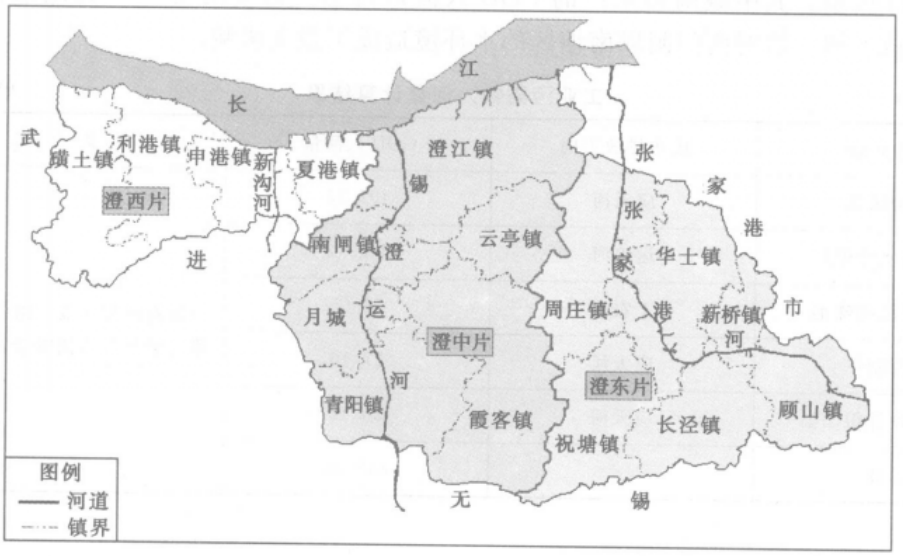


图 13.13　江阴市水资源规划分区图

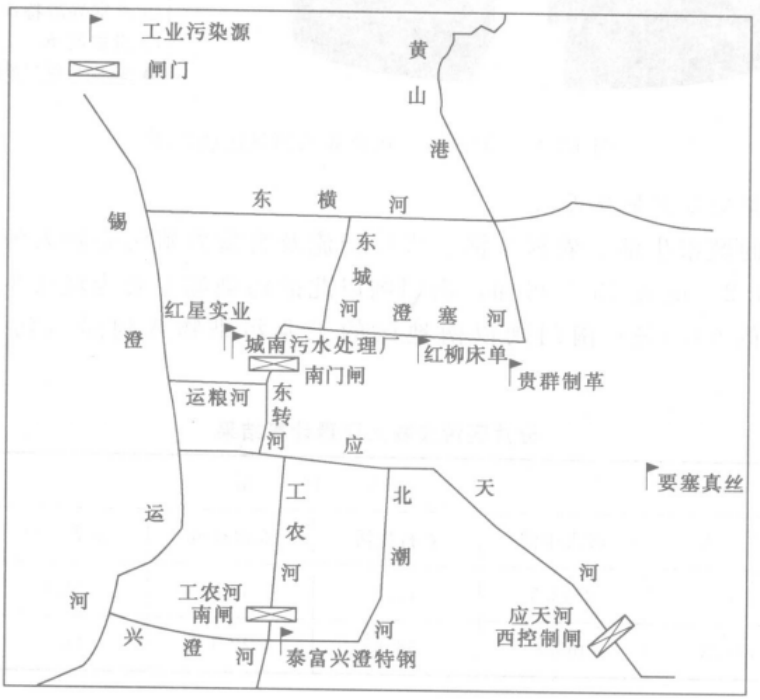


图 13.14　澄江区工业污染源分布图

13.1.2.2　澄江区现状污染物入河量分析

1. 工业污染物入河量分析

由图 13.14 可见，大多数工业企业都分散于南门闸、工农河南闸和应天河西控制闸周

围，经过计算，主要的工业企业污染物入河量见表 13.1，各企业污染物入河量所占比例如图 13.15 所示。其中城南污水厂的 COD 入河量占总入河量的 40%，其尾水排入运粮河，汇入应天河，这对南门闸以南地区的水环境造成了很大影响。

表 13.1　　工业污染物入河量计算结果　　单位：t/a

工业企业	废水排放去向	COD 入河量	备　注
红柳床单	应天河	407.35	另有红星实业、澄江印花厂和第二染整厂为接管企业
城南污水处理厂	运粮河	340.12	
泰富兴澄特殊钢	工农河	53.65	
贵群制革	应天河	27.10	
要塞真丝针织印染	应天河	20.12	
总计		848.34	

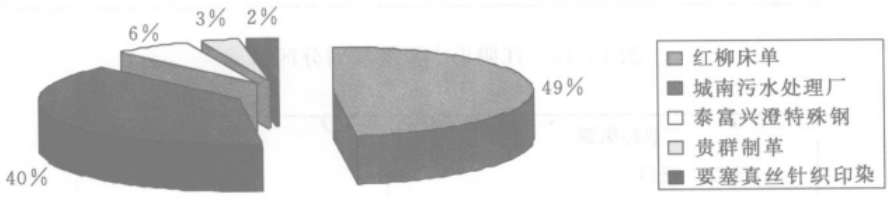


图 13.15　澄江区工业企业入河量比例饼图

2. 其他污染物入河量分析

两个片区的城市生活、农村生活、农田径流及畜禽养殖污染物入河量及其总入河量计算见表 13.2。由表 13.2 可知，南门闸以北的污染源主要为城市生活污水，占污染物总入河量的 98.6%；南门闸以南地区的工业污染物入河量占污染物总入河量的 59.1%。

表 13.2　　分片区污染物入河量计算结果　　单位：t/a

澄江区	入　河　量					
	工　业	城市生活	农村生活	农田径流	畜禽养殖	总　计
南门闸以北	0	2642.5	11.8	8.1	16.4	2678.8
南门闸以南	848.3	468.8	56.8	20.1	41.0	1435.0

13.1.2.3　截污提高剩余纳污能力方案分析

1. 城南污水厂尾水排入运粮河的现状工况

以南门闸为界，在城南污水厂尾水排入运粮河工况下，本文对澄江区分两个片区进行了各规划期的污染物入河量、纳污能力的计算，截污后污染物削减量及剩余纳污能力计算结果见表 13.3。

表 13.3　　截污后污染物削减量及剩余纳污能力计算结果　　单位：t/a

澄江区	规划期（年）	COD 入河量	纳污能力	污染物削减量	剩余纳污能力
南门闸以北	2010	1018.2	605	413.2	
	2020	35.2	605		569.8
	2030	34.6	605		570.4
南门闸以南	2010	1585.4	625	960.4	
	2020	2177.7	613	1564.7	
	2030	2332.1	613	1719.1	
备注	2010 年城南污水厂收集范围内的截污率将达到 80%，2020 年和 2030 年将达到 100%				

由表 13.3 可以看出：

（1）南门闸以北区域：根据本规划的污水治理工程规划，城南污水厂收集范围内的截污率在 2010 年、2020 年、2030 年将分别达到 80%、100%、100%，但是 2010 年 20%未进入污水处理厂的生活污水仍然对该区域的水环境造成一定影响，纳污能力缺口达 413.2t/a，此缺口可以靠引水解决。当 2020 年和 2030 年的截污率达到 100%后，纳污能力分别有剩余 569.8t/a 和 570.4t/a，说明截污率提高到 100%后，在不引水的情况下，澄江区南门闸以北区域的纳污能力能够满足该区域未来经济发展的需求，所以必须加强污水处理厂的截污力度，加快污水管网的铺设，归根结底截污才是根本改善水环境的方法。

（2）南门闸以南区域：虽然城南污水厂收集范围内的截污率在 2010 年、2020 年、2030 年将分别达到 80%、100%、100%，但是由于污水厂尾水仍然排入南门闸以南区域的运粮河，造成该区域的纳污能力的缺口在 2010 年、2020 年和 2030 年分别达到 960.4 t/a，1564.7t/a 和 1719.1t/a。这些纳污能力的缺口靠引水解决困难较大，因为黄山港泵站 $8m^3/s$ 的流量较小，从黄山港引水不能改善应天河以南的水环境，从白屈港引水虽然能够在一定程度上暂时缓解矛盾，但是考虑到从白屈港引水至此的调水利用率较低，且白屈港泵站 $100m^3/s$ 的流量，经济代价太大，不予推荐，所以该区域的水环境若从引水角度考虑改善，可行性不大。并且南门闸以南区域的河道状况又不容乐观，流动性较差，一旦该区域产生污水，解除其对环境的破坏困难重重。综上所述，只有改变城南污水厂的排口设置，才可能解决该区域的水环境问题。

2. 城南污水厂尾水排入长江的工况（规划）

以南门闸为界，在城南污水厂尾水排入长江工况下，本文对澄江区分两个片区进行了各规划期的污染物入河量、纳污能力的计算，截污后污染物削减量及剩余纳污能力计算结果见表 13.4。

表 13.4　　截污后污染物削减量及剩余纳污能力计算结果　　单位：t/a

澄江区	规划期（年）	COD 入河量	纳污能力	污染物削减量	剩余纳污能力
南门闸以北	2010	1018.2	605	413.2	
	2020	35.2	605		569.8
	2030	34.6	605		570.4

续表

澄江区	规划期（年）	COD入河量	纳污能力	污染物削减量	剩余纳污能力
南门闸以南	2010	619.5	625		5.5
	2020	598.7	613		14.3
	2030	597.1	613		15.9
备注	2010年城南污水厂收集范围内的截污率将达到80%，2020年和2030年将达到100%				

由表13.4可以看出：

在城南污水处理厂作为污水中途提升泵站，污水经提升进入城西污水处理厂，其尾水经老夏港河入长江后，南门闸以南区域的纳污能力在2010年、2020年和2030年分别剩余为5.5t/a、14.3t/a和15.9t/a，说明只要城南污水处理厂的尾水排入长江，它收集范围内的截污率在2010年、2020年和2030年将分别达到80%、100%、100%，并且从现状基准年到2010年再辅以引水，整个澄江区的纳污能力能够满足未来经济发展的需要。

规划期内，澄江区在城南污水处理厂尾水排入运粮河和长江两种情况下的纳污能力缺口（缺口量为正表示污染物削减量，缺口量为负表示剩余纳污能力）如图13.16和图13.17所示。

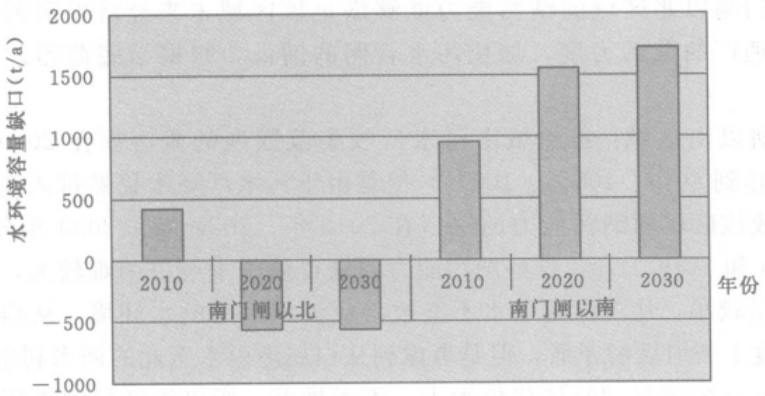


图13.16　城南污水处理厂尾水排入运粮河工况下澄江区纳污能力缺口直方图

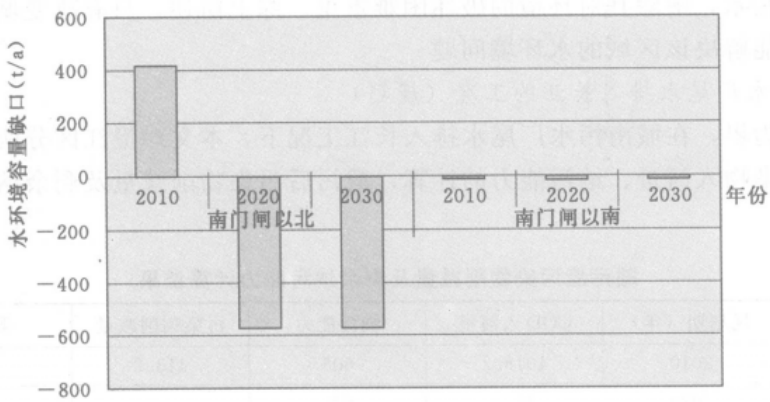


图13.17　城南污水处理厂尾水排入长江工况下澄江区纳污能力缺口直方图

13.2 引水改善水环境案例分析——以常熟市海洋泾为例

常熟市位于江苏省东南部，东邻太仓市，南接昆山市、湘城镇，西连无锡市、江阴市，西北与张家港市接壤，北濒长江，与南通市隔江相望，是全国经济最发达、发展最快的地区之一。

常熟市的海洋泾为县级河道，河长 14.7km，开口宽 50m，规划功能为引清保护区、引水保护区，景观用水、工农业用水、引排水，水质目标为Ⅲ类；常熟市城区是全市的政治、经济、文化中心，对全市而言，十分重要。本文研究海洋泾引水改善常熟市城区水质的效果，海洋泾与常熟城区的相对位置如图 13.18 所示。

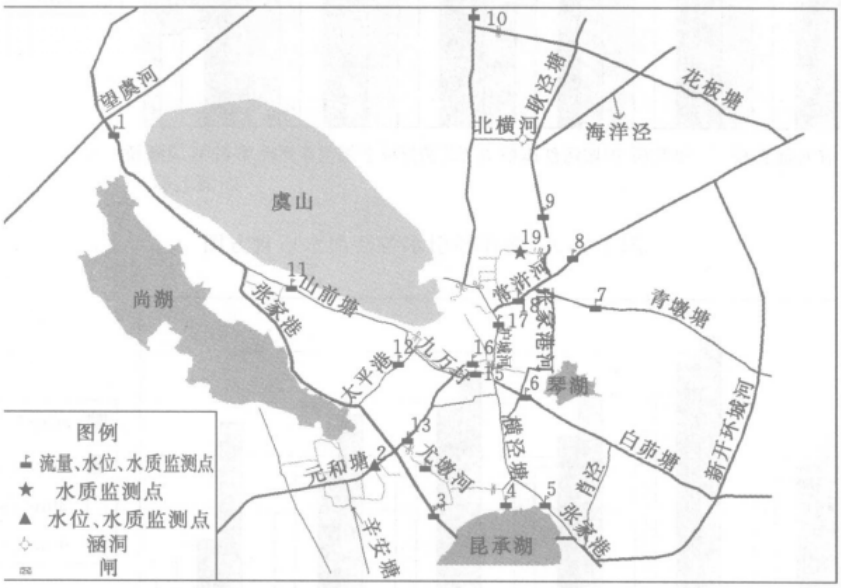


图 13.18 常熟城区内监测断面布设图

13.2.1 常熟河网区水环境数学模型建立及率定

2004 年 10 月 29 日 18 时至 10 月 30 日 21 时，在常熟市进行了原型调水试验（城区内监测断面布设如图 13.18 所示），并建立及率定了以圣维南方程组和河网对流传输移动方程组为基础的常熟河网区水环境数学模型。

13.2.2 海洋泾引水改善城区水质分析

规划开辟新的清水通道，通过海洋泾向常熟城区引水，对于引水改善常熟城区水质效果有一定的影响。从海洋泾引水水量分别取 $20m^3/s$、$30m^3/s$、$40m^3/s$，对引水改善城区水环境的效果进行计算。为了便于比较，计算采用的水文条件、水质边界条件与原型野外实验的一致。不同引水量时，城区各主要断面水质直方图如图 13.19～图 13.20 所示，（直方图中的断面名称山前塘甸新桥、元和塘桥、护城河红旗桥、九万圩跨塘桥、护城河新颜桥和常浒河琐澜桥在图 13.18 中分别为 11 号、13 号、15 号、16 号、17 号和 18 号断面）。

从图 13.19～图 13.20 可以看出：从海洋泾引江水对常熟城区水质有较大改善。海洋泾引水流量 $20m^3/s$、$30m^3/s$、$40m^3/s$ 时，城区主要断面水质平均改善程度如图 13.19～

图 13.20 和表 13.5。$20m^3/s$、$30m^3/s$、$40m^3/s$ 时 COD_{Mn} 改善程度分别为 30.3%、35.1%、42%，NH_3-N 改善程度分别为 19.7%、28%、36.7%。

从各种流量方案的计算水质改善效果，拟推荐最小引水量为 30～40 m^3/s。

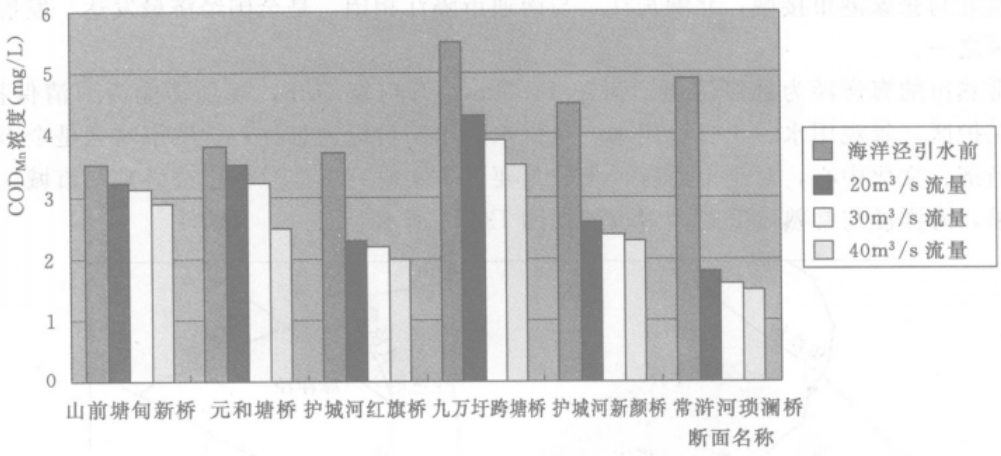


图 13.19 海洋泾引水各断面水质直方图

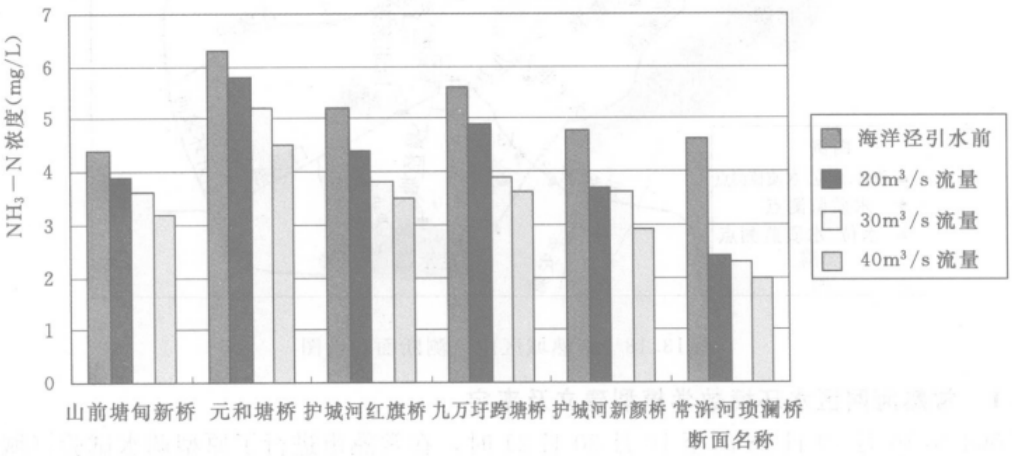


图 13.20 海洋泾引水各断面水质直方图

表 13.5　　海洋泾不同引水量城区主要断面水质改善百分比表

污染物名称	$20m^3/s$	$30m^3/s$	$40m^3/s$
COD_{Mn}（%）	30.30	35.10	42
NH_3-N（%）	19.70	28	36.70

13.3 清淤改善水环境案例分析——以太仓市城区为例

由于目前太仓市城区河道普遍淤积严重，平均淤积厚度达 1m 左右，底泥是污染物的储蓄库，底泥污染对引水改善水环境及截污改善水环境有制约作用。对河道进行清淤后，可更好沟通水系，增大过水断面，促进水体流动，提高防洪能力，恢复和提高河道的综合

功能；清淤本身对改善水环境也有一定的作用。

太仓河网区水环境数学模型建立及率定见 13.1.1 节，为了便于比较，计算采用的水文条件、水质边界条件与原型野外实验的一致。

13.3.1 太仓城区主要断面水质改善分析

老城区河道整治范围北至城北河，南至浏河，西起 204 国道，东至大半泾，总面积 11.98km²，水面积 0.388km²。河道清淤后将会有效地改善城区河道水环境，类比同类地区河道底泥污染物的释放率，本文对河道清淤后对太仓城区水环境的改善效果进行了计算。城区各断面在清淤前后的水质变化过程线如图 13.21～图 13.26 所示，各断面在清淤前后的水质直方图如图 13.27 所示。河道内 COD 浓度平均改善值为 0.7mg/L，清淤后古塘河水质改善最明显，改善值为 2.1mg/L。

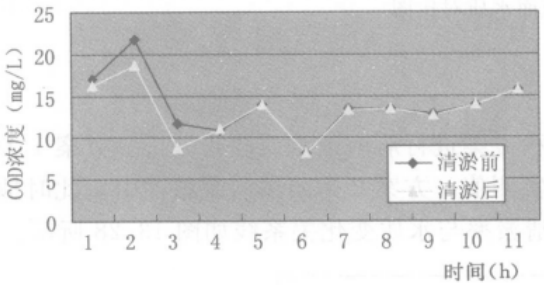


图 13.21 北城河人民路桥水质变化过程线对比图

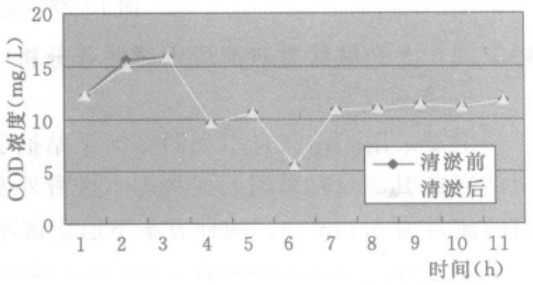


图 13.22 郑和东路大半泾桥水质变化过程线对比图

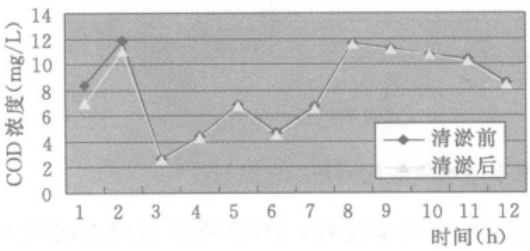


图 13.23 盐铁塘武家桥水质变化过程线对比图

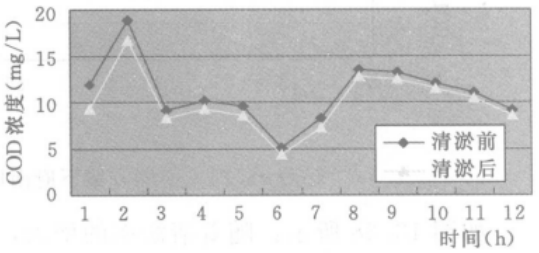


图 13.24 致和塘武陵街桥水质变化过程线对比图

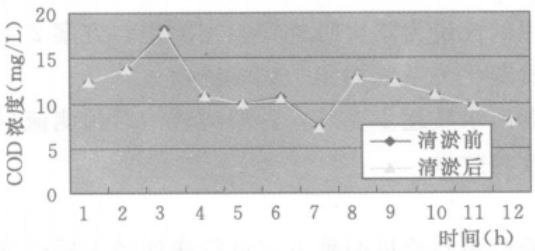


图 13.25 桃源路桥水质变化过程线对比图

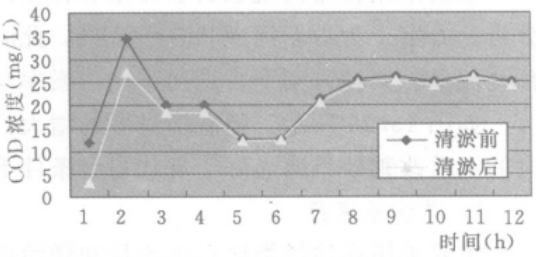


图 13.26 古塘河古塘街桥水质变化过程线对比图

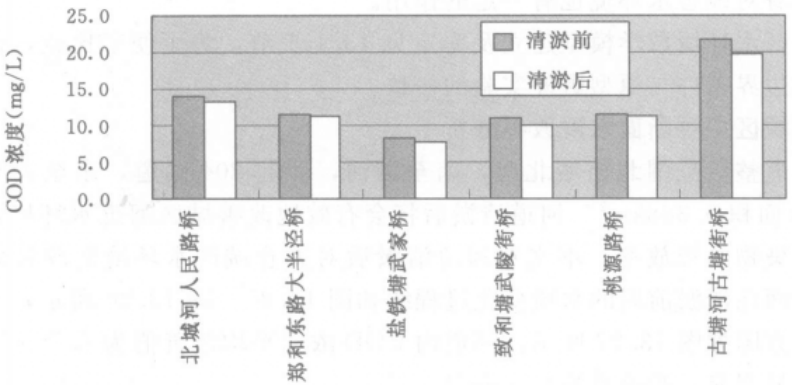


图 13.27　监测断面水质对比图

13.3.2　太仓城区重点河段水质改善分析

1. 府南区河段

主要采用团结河自引和团结河泵站抽引两种方案进行府南区水质改善分析。方案 1 为团结河自引，此时采用的流量为本次野外实验实测值；方案 2 为团结河泵站抽引，此时抽引的流量为 4.0m³/s。两种方案下府南区不同清淤率与水质变化关系线如图 13.28 所示。

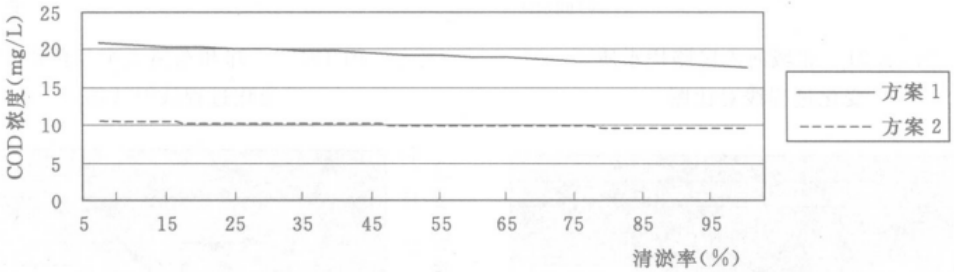


图 13.28　不同方案下府南区清淤率与水质变化关系对比图

如图 13.28 所示：随着清淤率的增大，府南区水质逐步变好；团结河泵站抽引时的水质改善效果明显好于自引条件下的改善效果。

2. 古塘河河段

主要采用古塘河现状自引流量和古塘河整治后预测流量两种方案进行古塘河水质改善分析。方案 1 为古塘河现状自引流量，此时采用的流量为本次野外实验实测值；方案 2 为预测流量。两种方案下古塘河不同清淤率与水质变化关系线如图 13.29 所示。

如图 13.29 所示：随着清淤率的增大，古塘河水质逐步变好；古塘河整治后预测流量时的水质改善效果明显好于现状自引条件下的改善效果。

3. 洋沙泾河段

主要采用洋沙泾类比自引流量和洋沙泾整治后预测流量两种方案进行洋沙泾水质改善分析。方案 1 为洋沙泾类比自引流量，此时采用的流量为本次野外实验类比值；方案 2 为预测流量。两种方案下洋沙泾不同清淤率与水质变化关系线如图 13.30 所示。

如图 13.30 所示：随着清淤率的增大，洋沙泾水质逐步变好；洋沙泾整治后预测流量

时的水质改善效果明显好于类比自引条件下的改善效果。

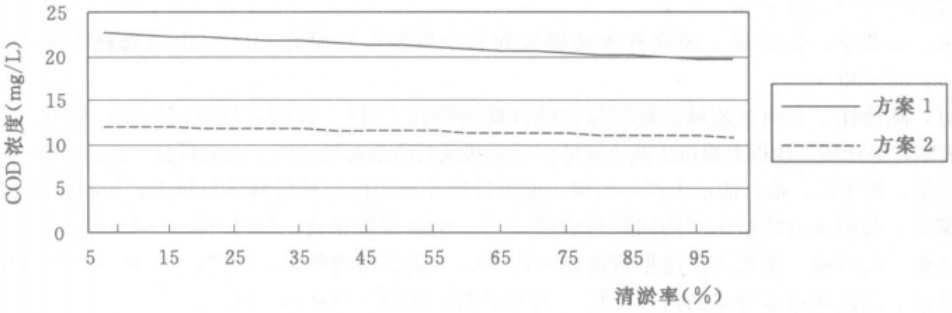


图 13.29　不同方案下古塘河清淤率与水质变化关系对比图

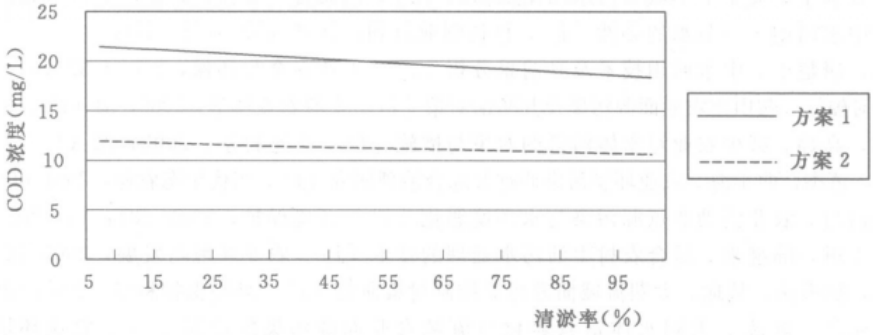


图 13.30　不同方案下洋沙泾清淤率与水质变化关系对比图

参 考 文 献

[1] 刘圣勇．一维水质模型对河流污染物扩散的简单模拟 [J]．水运管理，2005，27 (4)：33－34.

[2] 逄勇，吴亚蒂，龙江．九州江粤桂交界处水质达标研究 [J]．中山大学学报（自然科学版），2002，41 (4)：101.

[3] 张二骏，张东生，李挺．河网非恒定流的三级联合解法 [J]．华东水利学院学报，1982，10 (1)：1－13.

[4] 韩龙喜，张书农，金忠青．复杂河网非恒定流计算模型——单元划分法 [J]．水利学报，1994，2 (2)：52－56.

[5] 卢士强，徐祖信．平原河网水动力模型及求解方法探讨 [J]．水资源保护，2003 (3)：5－9.

[6] 张书农．环境水力学 [M]．南京：河海大学出版社，1988.

[7] 王锡冬，石建华．里下河河网模型研究及应用 [J]．水文，2000，20：7－8.

[8] 赵棣华等．长江江苏段二维水流—水质模拟 [J]．水利学报，2003 (6)：72－76.

[9] 韩菲，陈永灿，刘昭伟．湖泊及水库富营养化模型研究综述 [J]．水科学进展，2003，14 (6)：785－789.

[10] 周丰，刘永，黄凯等．流域水环境功能区划及其关键问题 [J]．水科学进展，2007，18 (2)：216－220.

[11] 毛媛媛，王锡冬．江苏省淮河流域纳污能力浅析 [J]．水资源保护，2003 (3)：14.

[12] 李红亮，李文体．水域纳污能力分析方法研究与应用 [J]．南水北调与水利科技，2006 (4)：59－60.

[13] 韩龙喜，朱党生，蒋莉华．中小型河道纳污能力计算方法研究 [J]．河海大学学报（自然科学版），2002，30 (1)：35－37.

[14] 韩龙喜，朱党生，姚琪．宽浅型河道纳污能力计算方法［J］．河海大学学报（自然科学版），2001，29（4）：72－75.
[15] 陈敏，黄荣华，张远征．湖北省水功能区划和水资源保护研究［J］．中国农村水利水电，2004（11）：38－39.
[16] 逄勇，陈德桂．九州江流域水资源保护综合规划研究［M］．北京：气象出版社，2000：45－58.
[17] 刘淑丽，卫秋瑞．浅析太原市工业企业的污染现状及其防治对策［J］．太原科技，2003（1）：14－15.
[18] 杨国艳，张小海．推行清洁生产，实现工业可持续发展［J］．环境科学与技术，2003（26）：33－34.
[19] 赵家荣．我国推行清洁生产的回顾与展望［J］．中国经贸导刊，2003（5）：24－25.
[20] 陈文松，古国榜．论深入广泛推行清洁生产［J］．重庆环境科学，2002，24（5）：22－24.
[21] 冉星彦．浅论城市水环境的治理［J］．北京水利，2001（4）：13－14.
[22] 张学勤，曹光杰．城市水环境质量问题与改善措施［J］．城市问题，2005（4）：37－38.
[23] 陈炫，张永军．关于中小城市污水回用的探讨［J］．内蒙古环境保护，2005，17（4）：37－40.
[24] 潘卫．中水回用——节水的必然［J］．科技创业月刊，2006（5）：175－176.
[25] 蔡银志，唐楚丁．中水回用技术及其前景分析［J］．工业安全与环保，2006，32（6）：16－17.
[26] 吴迪，何俊仕．鞍山市农业面源污染及其防治对策［J］．安徽农业科学，2006，34（13）：3168－3170.
[27] 吴启堂，高婷．减少农业对水体污染的对策与措施［J］．生态科学，2003，22（4）：371－375.
[28] 姜晓燕，董杰，曲士海．农业环境污染调查及综合治理研究［J］．当代生态农业，2004（1）：27－29.
[29] 唐莲，白丹．农业活动非点源污染与水环境恶化［J］．环境保护，2003（3）：18－20.
[30] 赵璇，王琳，陆继来．适合农村生活污水处理的技术［J］．农业环境与发展，2007（2）：10－13.
[31] 王健华，陆根法，钱瑜．太湖流域面源污染控制对策研究［J］．环境保护科学，2003（29）：16－17.
[32] 程波，张泽，陈凌．太湖水体富营养化与流域农业面源污染的控制［J］．农业环境科学学报，2005（24）：120－124.
[33] 于卫红．城市排水规划的热点问题探讨［J］．中国给水排水，2006，22（8）：16－18.
[34] 王涛．城市污水处理厂建设应注意的问题［J］．中国环保产业，2003（9）：15－19.
[35] 沈光范．关于城市污水治理政策的思考［J］．中国环保产业，2004（2）：17－18.
[36] 宋军继．浅谈当前城市水环境现状及发展对策［J］．水土保持研究，2003，10（3）：114－116.
[37] 黎永育．我国城市污水处理厂转制的必要性［J］．中国给水排水，2002，18（8）：21－22.
[38] 王涛，楼上游．中国城市污水处理工艺现状调查与技术经济指标评价［J］．中国给水排水，2004，30（5）：1－4.
[39] 刘宁．响应水质型缺水社会需求的跨流域调水浅析［J］．中国水利，2006（1）：14－19.
[40] 阮仁良．平原河网地区水资源调度改善水质的机理和实践研究——以上海市水资源引清调度为例［D］．河海大学学报，2003：4－5，35－36，64－66，99－100.
[41] 苏华．浅谈环保疏浚应抓住的关键环节［J］．江苏水利，2005（1）：34.
[42] 朱炳荣，钱秀华，秦建岳．张家港市河道清淤与环境整治相结合［J］．中国水利，1999（12）．
[43] 李艳霞，王颖，张进伟．城市河道水体生态修复技术的探讨［J］．水利科技与经济，2006，12（11）：763，766.
[44] 张龙江，张永春，杨永岗．“松花江水质”污染事故应急处理与思考［J］．安全与环境工程，2007，14（1）：13－15.
[45] 张胜田，江希流．减少我国突发性环境污染事故的对策［C］．中国环境科学学会学术年会优秀论文集，2006：1556－1558.
[46] 彭祺，胡春华，郑金秀．突发性水污染事故预警应急系统的建立［J］．环境科学与技术，2006，29（11）：58－61.
[47] 何进朝，李嘉．突发性水污染事故预警应急系统构思［J］．水利水电技术，2005，36（10）：90－92，96.

第4编　滨江地区防洪安全校核及水系规划研究

第14章　滨江地区洪涝灾害成因与特点

14.1　洪涝灾害的成因分析

14.1.1　致灾的地理因素

滨江地区多为洪水滩地或冲积平原，在洪水期，江河水位往往长时间高于地面高程，洪水威胁很大。长江中下游1931～1949年仅18年间，荆江地区被淹5次，汉江中下游被淹11次；黄河下游1900～1951年间决口13次；淮河中下游是两年一小水，三年一大水；松辽流域平均每2～3年发生一次洪水；海河自1910～1949年间发生较大洪水7次，平均5.5年一次。1949年以后，我国对江河进行了全面治理，主要江河的常遇洪水基本得到控制，洪灾发生频次显著下降。随着人口增加、水土资源的不合理开发、经济发展和江河自然演变，又产生了许多新的问题，遇到特大洪水，灾害依然十分严重。

由于滨江地区地势低平，外河水位较高，一些地区还受海洋潮汐的影响，外排易受阻，遭遇当地暴雨时，经常出现大范围的涝渍灾害。我国的涝灾主要分布于各大流域的中下游平原的滨江、滨湖及沿海平原地区。

1. 松嫩平原

松嫩平原地势平缓，地形复杂，多为闭流的浅平洼地，无尾河道众多，形成诸多泡沼。由于河网稀疏，排水困难，雨后河水漫流扩散，造成积水受淹。松花江干流中部涝区及第二松花江涝区属于山前河谷冲积平原，地形高低起伏，变化复杂，形成众多洼地、水泡和小闭流区，雨后积水排不出，加上两侧台地的坡面径流入侵，形成长时间积水。

2. 海河平原

海河流域为黄河的冲积平原，地面坡度上陡下缓，沿京广铁路地面高程50m，向西为丘陵山区，向东至滨海降至10m以下，为一片广阔平原。地势平坦，地面坡度由1/1000降至不足1/10000，加上受海潮顶托，排水缓慢。黑龙港、运东及清南、清北涝区，属洪水河道区间洼地，本身无排水出路，四周受排洪河道的堤防包围，历来涝情严重。在海河中下游地区的潮土，属重黏壤土与黏土，质地紧密，渗透性低，排水困难。

3. 黄泛区

徒骇、马颊河地区与卫河平原为历史上的黄泛区，从公元前602年到1938年，黄河改道26次，其中11次流经该地区，形成坡、洼、湖沼与沙岗、丘垄相间的地形，雨后洼地积水，排水困难。黄河南泛对淮北平原和鲁西南平原影响也很大，在黄河夺淮的622年中，西起开封东至海滨皆为黄泛区，破坏了原有水系，淮河改道入江。泗水、古汴河、睢河、涡河、颍河均曾为黄河泛道，泛道两岸泥沙堆积成岗地，岗地之间则形成洼地，当再次改道时，相互交叉堆积，出现了许多封闭洼地，而成为平原区的重点灾害区。淮北平原广泛覆盖着不同厚度的属第四纪上更新统河湖相沉积物，主要是砂礓黑土，质地密、孔隙率小、透水性能差、干时坚硬、湿时泥泞、排水不良，为淮北最易发生涝渍的一种土壤。

4. 河口及滨湖平原

三角洲、沿江河及滨湖平原洼地和圩区，地势低洼，河网水位距地面多数不到1m，有的只有0.5m左右。邻近外河（湖）高水位，常常受到侧渗补给，引起地下水位升高，因而出现地面水受河网水位顶托，排泄不畅，排降地下水也更为困难。例如长江三角洲、太湖流域东部平原、淮河下游里下河平原圩区大部分地区的河道坡度较小，有些地区河底坡度接近0，沿长江和沿海地区河底高程往往等于和低于海平面，主要靠水闸控制在低潮排水。河口及滨湖平原地区河道水系多为网状，四通八达，水流顺逆不定，水文特性复杂。例如，珠江三角洲上游每年带来约7000t泥沙，其中60%左右在入海8个口门的岸边沉积，河口区水流分叉，形成水网。因地势低洼平坦，排水沟渠泥沙淤积较快，排水不畅，加上受潮汐顶托，失去自排能力而形成涝渍灾害。另外，这些地区土壤的渗水性能差是涝渍频发的又一诱因。珠江三角洲为西、北、东三江携带的泥沙在古海岸淤积的平原，多为潮泥田、泥肉田、低土朗田，沙壤土上的积淤泥透水性能较差。太湖下游地区、杭嘉湖、洮涌湖边圩区，土壤主要属青紫泥、黄心青紫泥，颗粒细、土质黏重、通透性差，造成该地区易涝怕滞的状况。鄱阳湖滨湖地区多为红壤性水稻土，土层深厚、易板结、通透性差，排水困难，常形成土层上层滞水，加之雨期长、排水不畅，易发生涝渍。

14.1.2 致灾的气象因素

我国各大流域的中下游平原属东亚季风气候，是我国东部发生季风暴雨的地区。随着季节的转换，盛行风向发生显著变化，气候的干湿和寒暑状况交替，雨涝时间分布特点是南部早、北部晚。夏季风与冬季风交替的时间、强弱、停滞阶段和交绥地带各年不同，季风活动的异常时有发生，造成长江流域初夏梅雨季节和盛夏集中降雨季节的长短及降雨量多寡差异甚大。

降雨过量是发生洪涝灾害的主要原因，灾害的严重程度与降雨强度、持续时间、一次降雨总量和分布范围有关。根据我国灾害性暴雨发生日期和雨量统计资料，暴雨发生的季节北方基本上在5月上旬至9月上旬，南方为4月中下旬至10月上旬。我国南方地区的年降雨量大于北方地区，汛期平均月雨量和最大月雨量很接近；北方年雨量小，最大月雨量相对较大，因此，北方形成的灾害性降雨频次并不低于南方。由于降雨量年际、年内分布不均匀，有些时期雨量大、强度高，造成洪涝灾害；有些时期阴雨连绵、低温高湿，造成土壤过湿和地下水位过高，引发渍害。

我国大部分地区降水主要集中在夏季数月，如果将每旬降水量占4～9月总降水量的

百分率大于7%的等值线所包围的区域作为雨带范围，并把降水百分率最大值的连线称为雨带轴线，据此研究雨带的季节变动，可得出雨带轴线的季节位移。

4月上旬至5月上旬，雨带轴线在长江以南、南岭、武夷山一带摆动。4月中旬，雨带大致位于两湖盆地和南岭山脉之间。5月上旬，降水强度加大，在鄱阳湖周围和浙赣山区出现了大范围的大于11%的等值线中心，雨带笼罩了长江以南和南岭以北的广大地区，这就是“江南春雨”。此时，南岭以南和长江以北降水稀少。

从5月上旬起至6月上旬，雨带位置逐渐南退，雨带局限于南岭以南、华南沿海。南岭以北降水百分率均小于7%。

6月中旬起，雨带开始向北推进，降水强度进一步加大，雨带轴线大致位于武夷山西北坡、赣南、湘南一带。6月下旬，雨带跃到长江中下游，范围扩大，雨带轴线近乎东西向，在两湖盆地一带出现了大于13%～15%的闭合等值线，这就是江淮流域的“梅雨”。“梅雨”开始与结束的早晚，降水多少，直接影响当年洪水的大小。例如，1931年、1954年、1991年的长江流域中下游特大洪水，就是“梅雨”来临早、结束迟、雨期长、降水多造成的。

7月上旬，雨带轴线仍在淮河流域，极值中心达16%，同时华北降水明显增加。在太行山东侧和内蒙古东部地区出现了一条近乎于南北向的雨带轴线，在28°N以南地区，由于副热带高压的北移和控制，降水很少，开始进入盛夏季节。

7月中旬，雨带迅速北移，轴线越过黄河。8月上旬雨带到达最北位置，此时正是华北雨季。华北平原雨量最为集中，出现了17%以上的等值线，且雨带轴线分为两支：一支呈东西向；一支近乎南北向。这是华北盛夏雨带分布的典型特征。此时长江以南广大地区进入了伏旱少雨季节，但华南沿海却出现了新的雨带。8月中旬以后，雨带开始南退，北方雨季也随之结束。

每年6～10月，由我国东南低纬度海洋形成的热带气旋北移，携带大量水汽途经太湖地区，造成台风型暴雨。台风和热带风暴登陆具有明显的地域性特点。东南沿海（桂、粤、琼、闽、台、浙）一带共登陆台风占全国登陆总数的95%，为登陆的集中区域。其中，登陆最多的是广东省，其次是台湾省，海南省、福建省分列第三、第四位。5～6月，登陆地点只分布在华南沿海；7～8月，扩大到全国沿海；9～10月，收缩到长江口以南沿海；11月，缩小到广东、海南、台湾三省。台风在广东、广西、福建、浙江、上海、江苏等南方沿海省市登陆后一般都要减弱，速度变慢，但大多数还能进入内陆并向北方推进，影响到江西、湖南、湖北、安徽、山东、河南、河北、天津等省市。例如，1992年16号强热带风暴在福建省登陆，很快变成低压北进，途经浙江、上海、江苏、山东、河北、天津等省市，造成了严重的风暴潮和洪水灾害。

14.1.3 致灾的社会因素

洪涝灾害的形成，自然条件是一个很重要的因素，但严重灾害的形成则与人类社会经济活动密切相关。由于人口的急剧增长，水土资源过度的不合理开发，人类经济活动与洪水争夺空间的矛盾进一步突出，引起了许多新的问题，加剧了洪水灾害。

1. 水土流失加剧，江河湖库淤积严重

森林植被具备截留降水、减少地表径流、涵养水源、保持水土、调节气候的功能。由

于盲目砍伐，森林植被面积剧减，一方面导致流域坡面的滞蓄能力降低，使洪水峰高量大，增加了水灾的频率；另一方面导致水土流失加剧，使水库、河道淤积，蓄水库容减少，降低了调洪和排洪的能力。

据统计，1957 年我国长江流域森林覆盖率为 22%，水土流失面积为 36.38 万 km^2，占流域面积的 20.2%，到 1986 年森林覆盖率减少了一半多，水土流失面积增加一倍，仅四川省的水土流失面积就超过了 20 世纪 50 年代长江流域水土流失面积的总和。黄河流域森林覆盖率更低，水土流失面积达 43 万 km^2，大量泥沙源源不断地输往下游，平均每年有 4 亿 t 泥沙淤积在河道内。水土流失造成大量下泄泥沙淤塞江河湖泊、河床加高、湖泊容积缩小。根据洞庭湖的龟山、城陵矶两个水文站测得的数据，与 20 世纪 60 年代的情况相比，在相同的洪峰流量下，20 世纪 80 年代的水位要高出 2～3m，最高达 6m。1996 年、1998 年两年长江洪峰流量比 1954 年小，而水位却比 1954 年高出几十厘米以上。

2. 围垦江湖滩地，湖泊天然蓄洪作用衰减

我国东部平原人口密集，人多地少矛盾突出，河湖滩地的围垦在所难免。但是，过度的围垦使湖泊面积和数量急剧减少，降低了湖泊的天然调蓄作用，大大增加了洪涝灾害。据粗略统计，近 40 年来，湖南、湖北、江西、安徽、江苏 5 省围垦湖泊的面积在 12000km^2 以上，相当于今洞庭湖面积的 4 倍多，因围垦而消亡的大小湖泊达 1100 个左右，其中对调蓄长江洪水起关键作用的通江湖泊围垦和淤积尤为严重。如洞庭湖作为长江中下游最重要的过水性调蓄湖泊，湖的蓄水容积由 1949 年的 293 亿 m^3，下降到现在的 178 亿 m^3。据史料记载，285～1868 年洞庭湖水灾平均 41 年一次，而现在水灾已缩减到不足 5 年就有 1 次。近几十年来，由于围垦而消亡的湖泊达 1000 余个，湖泊面积和容积也大大减少。太湖流域 1950～1990 年累计围垦大小湖泊面积近 300km^2，降低了湖泊的调节能力，从而扩大了洪涝灾区的范围。珠江河口大量围垦滩涂，河口不断向前延伸，而排洪河道未得到相应治理，排水受阻，壅高了上游水位。三江平原 1949 年易涝易渍耕地面积为 32.5 万 hm^2，1965 年为 52.1 万 hm^2，1975 年以后大量开垦，但水利建设未跟上，垦区排水标准过低，截至 1990 年易涝易渍耕地面积增至 221.5 万 hm^2。

3. 人为设障阻碍河道行洪

河道是宣泄洪水的空间，河道内是不允许有阻碍行洪的障碍物存在的，《中华人民共和国水法》第三十七条明文规定："禁止在江河、湖泊、水库、运河、渠道内弃置、堆放阻碍行洪的物体和种植阻碍行洪的林木及高秆作物。禁止在河道管理范围内建设妨碍行洪的建筑物、构筑物以及从事影响河势稳定、危害河岸堤防安全和其他妨碍河道行洪的活动。"但是，随着人口增长和城乡经济发展，沿河城市、集镇、工矿企业不断增加和扩大，滥占行洪滩地，在行洪河道中修建码头、桥梁等各种阻水建筑物，一些工矿企业任意在河道内排灰排渣，严重阻碍河道正常排洪。武汉市江滩 20 世纪 70 年代以来被占用了 184 万 m^2，大量阻水建筑物抬高了长江水位，1980 年洪水最大流量比 1969 年小 2900m^3/s，而最高洪水位却比 1969 年高出 0.57m，严重威胁武汉市安全。

4. 超采地下水，造成地面沉降

在人口比较密集的地区和城市化地区，由于水源短缺或水质恶化，常常出现过度开采深层地下水的状况，造成地面沉降，引发洪涝灾害的加剧。例如，根据对江苏省苏南几个

城市调查，城市沉降中心的累计最大沉降量：苏州市 1.45m，无锡市 1.14m，常州市 1.10m；苏、锡、常 3 个城市累计地面沉降大于 0.6m 的面积分别达到 80.4km²、60.0km²、43.0km²。除了苏、锡、常三市的沉降中心之外，在锡山区、张家港市、江阴市、常熟市、昆山市、太仓市等地还发育有多个地面沉降中心，累计沉降量大于 0.3m 的地面沉降漏斗面积约 1500km²。在 1991 年洪涝灾害中，沉降洼地灾情特别严重的苏州城西地区、无锡市东北广益地区、常州市城南地区积水深度和淹没时间都超过相邻地区。上海市从 20 世纪初就开始了地面沉降，地面最大累计沉降量已达 2.63m，形成了面积约 1069km²，边缘高程小于 4m 的洼地，中心城区大部分面积已经低于 3.0m。在一般高潮条件下，市区大多数河流已成为“地上河”；在暴雨期若遭遇高潮，排涝泵站关闭，则大部分地区排水困难，会造成严重内涝。

5. 新建或规划排水系统不合理

一些地区在规划或调整水系中未经科学论证，使得新的排水系统布局不合理，破坏了原有排水系统，不能满足地区的排水需求。如淮河下游苏北灌溉总渠北部地区，总面积 1967km²，耕地 11.3 万 hm²，人口 92 万人，该地区原有排水河道，水流自北向南排入白马湖、马家荡、射阳湖。1952 年开挖总渠，截断排水河道，后开挖自西向东排水渠入海，路线长，标准低，多年来该区涝灾严重，一般年份受灾 2 万 hm²，大水年受灾 6 万～7 万 hm² 以上。又如黄河流域金堤河，集水面积 5047km²，耕地 35.2 万 hm²，原来是自流入黄的，1949 年修复黄河堤防，将入黄口门堵死，仅能向东排水 25m³/s 入小运河，灾情十分严重。直至 1964 年才修建张家庄闸，但黄河河床已淤高，排水能力下降，自排入黄已很困难。

6. 城市化的影响

近 20 年来，随着经济的发展，城区面积的扩展非常明显，造成区域不透性强度显著加大。按排水设计常用的短历时（1h 左右）1 年一遇暴雨条件，根据市政排水手册查算，大部分中心城区地表径流系数约为 0.6～0.8，次雨量径流系数为 0.4～0.6。比早期城市径流系数增加 0.2 左右。根据城市径流试验小区实测降雨径流资料分析，如果遭遇高强度、长历时的暴雨过程，中心城区次雨量地面径流系数达 0.8，短历时地表径流系数可达 0.9 左右。例如，北京市 1959 年 8 月 6 日和 1983 年 8 月 4 日发生的两场降雨的雨量及强度相似，总雨量分别为 103.3mm 和 97.0mm，最大 1h 雨量为 39.4mm 和 38.4mm，但两者的洪峰流量分别为 202m³/s 和 398m³/s，后者较前者增大了近 1 倍。

随着城市发展，侵占河道的现象非常严重，使得地区原有水面率大大减少，尤其是位于水系较为发达的平原河网地区，不能符合防洪规划对水面率的基本要求。

在城市地表径流系数增加，水面率减少，河湖调蓄能力降低的同时，排水能力不断提高，造成排涝模数的显著增加。可能抬高局部地区接收水体的水位，造成新的洪涝问题。

很多城市还遭受潮汐的影响。由于城市地势平坦，外河水位在汛期和高潮期可以高于城市地面高程，城市排水系统常常需采用泵站向外河排水，管道中水流可能呈现压力流状态，其运行状态和传输速度不同于常规的重力流情况。在暴雨期，局部低洼区如果低于管道水力线时，在水流压力条件下管道内的雨污径流会返流地面，形成地面积水。由于低洼区容易出现在道路立交等交叉路口，地面积水可造成严重的交通堵塞。

14.2 洪涝灾害的主要特点

14.2.1 我国江河洪水的时空分布

我国幅员辽阔、地形复杂、跨多个气候带，各地河流特性差别较大，洪水特性也有显著的不同。

长江洪水主要由暴雨形成，主汛期为5～9月。洞庭湖、鄱阳湖水系洪水多发生于5～7月，金沙江和长江上游北岸支流洪水发生时间为6～9月。长江上游干流洪水发生时间为7～9月，中下游干流为5～10月。长江洪水峰高量大、历时长，上游一次洪水过程短则7～10d，长的可达30d以上；中下游由于众多支流汇入，常形成多峰洪水，持续30～60d及以上。一旦上游洪水提前或中下游洪水延后，上游洪水就可能与中下游洪水遭遇，形成全流域的大洪水。

黄河洪水主要由暴雨和冰凌形成，暴雨洪水多发生在7～10月，是黄河的主汛期。黄河上游洪水过程平缓，含沙量小，洪水历时40d左右；中游洪水主要来源于河口镇—龙门区间、龙门—三门峡区间及三门峡—花园口区间；下游洪水主要来自中下游地区，含沙量大、水少沙多、水沙异源、水沙过程不同步以及年际变化大，使黄河防洪具有特殊难度。近年来，由于持续来水偏少，河道主槽淤积萎缩严重，平滩流量下降，部分河段甚至形成了“二级悬河”，一旦发生特大洪水，黄河大堤有溃决的危险。

淮河流域洪水发生时间集中在5～9月。大范围连续多次暴雨可形成历时达2个月以上的流域型洪水；而由台风或涡切变天气系统暴雨则可形成局地性洪水，洪峰流量很大，部分山区河流洪峰流量创下了全国同样汇流面积实测最大洪峰流量的记录。淮河水系为非对称的羽状河流，来自淮南山区的暴雨洪水源短流急，暴涨暴落；而来自北部平原支流的洪水在比降平缓的中游河段相继汇入，干支流洪水相互顶托影响，作用关系十分复杂。13～19世纪黄河夺淮期间，大量泥沙淤积在淮河下游，使淮河丧失了自己的入海通道，在淮河平原洼地上蓄积成洪泽、高邮等湖泊后，被迫向南汇入了长江。而在干流中游入洪泽湖的河段甚至形成了倒比降，使得中游洪水消退缓慢，汛期长时间处于高水位行洪状态，不得不沿河设置大量行洪区与蓄洪区以分滞大量的洪水。

海河洪水来自夏季暴雨，可分南系洪水和北系洪水，南系洪水主要来源于太行山区，北系洪水主要来源于燕山山区。海河洪水发生时间主要集中在7～8月，洪水源短流急，洪量集中，洪水量级年际变化大。

辽河暴雨洪水多出现在7～8月，其主要支流大都流经山丘地区，集水面积小、流程短，洪水一般为陡涨陡落，一次洪水过程一般不超过7d，最长为半个月左右。辽河洪水年际变化大，仅次于海河洪水。

松花江的暴雨洪水多发生在7～9月，干流洪水涨落缓慢，洪水过程持续时间长，一次洪水过程历时可达90d甚至更长。哈尔滨市以上干流大洪水主要来自于嫩江和第二松花江，干流下游大洪水则是由干流上游洪水和支流呼兰河、牡丹江或汤旺河洪水遭遇形成。

珠江流域的洪水主要由暴雨形成，4～7月为前汛期，主要由大气环流热带季风影响的结果；8～9月为后汛期，主要由热带风暴和台风形成。洪水峰高量大，历时长。

太湖流域汛期为5～9月，其洪水可分两类：一类是梅雨型洪水，发生在5～7月，洪

水历时长、范围广、洪量大，可影响全流域；另一类为台风暴雨型，出现在7～9月，洪水历时短，范围相对小，多为地区性洪水，但降雨强度大，局部灾害严重。由于太湖流域大部分区域为平原水网区，往往具有洪涝不分的特点。

14.2.2 滨江地区洪涝灾害的主要特点

1. 洪涝灾害的易发性

滨江地区多属于平原地带，雨量充沛，地势低平，很多区域地面高程低于江河洪水位，主要通过建立圩垸，依靠堤防抵御江河洪水。对于当地暴雨造成的涝水，则常采用泵站强排方式排除。由于平原地区常受江河高水位、下游天文潮以及风暴潮影响，河网水流顺逆不定，排水通道不畅，汛期暴雨极易造成洪涝灾害。地处大江大河的河口、沿海、沿江、三角洲地区，受季风活动影响的同时还遭受潮灾和风暴影响，洪涝涉及江河湖库洪水、平原河网和圩区涝水、河口和海洋风暴潮等多种洪涝灾害防范问题。随海陆位置、经纬度、地形地貌、经济发展、土地利用的差异，地区洪涝成因及灾情特点可能是不同的。一些地区可能出现多种洪涝因素的共同影响，如上游洪水与当地暴雨同步发生，台风暴雨与天文高潮遭遇等，会造成特大灾害。

中国自古以来是世界第一人口大国，绝大部分的人口集中在主要江河的中下游广大冲积平原、河谷川地及盆地。随着人口的不断增加，土地的开发利用达到了极高的水平，天然湖泊、湿地、洼地等自然滞蓄洪水的场所逐步缩小或消失，人与洪水的矛盾日趋严重，即使不断修建防洪工程设施，在大洪水和特大洪水时也难于保证全部生活和生产空间的安全。

2. 洪涝损失的严重性

滨江地区一般具有良好的土地资源、水利资源和水运条件，尤其是在各大江河的中下游地区经济发展迅速，如长江三角洲、珠江三角洲地区。由于密集的人口，较高的经济强度，滨江地区洪涝造成的损失往往处于各种自然灾害损失的前列。尤其是江河全流域的特大洪涝对滨江地区的灾害是巨大的。新中国成立以后，七大江河流域发生过多次特大洪涝灾害，其中损失最为严重的为1954长江流域特大洪灾、1975年淮河流域特大洪灾、1991年江淮特大洪灾、1998年长江流域特大洪灾。

(1) 1954年长江流域特大洪灾。1954年5月至7月初，长江发生流域性特大洪水，从枝城至镇江河段最高水位均超过了有记录的最高洪水位。长江干堤和汉江下游堤防溃口61处，扒口13处，虽然及时采取分洪的应急措施，保住了荆江大堤等重要堤段和武汉等重要城市，但仍然造成了巨大的经济损失和人员伤亡。长江中下游有123个县（市）受灾，受灾人口1888万，死亡3.3万人，淹没农田317万hm^2，损毁房屋427.6万间，京广铁路近百日不能正常运行。

(2) 1975年淮河流域特大洪灾1975年8月2日，台风在福建登陆后，变为热带低压深入到河南中部及湖北西部停滞，8月5～7日发生连续暴雨，降雨量超过1000mm的面积达1480km^2，暴雨中心林庄最大24h降雨量达1060.3mm，造成淮河支流汝河、沙颍河水系发生我国历史上罕见的特大暴雨洪水。老王坡、泥河洼等滞洪区漫决，沙颍河、洪汝河漫溢决口，板桥、石漫滩两座大型水库5月8日垮坝失事，另外还有2座中型、44座小型水库失事。流域下游河堤决口2180处，总长810km。河南省29个县（市）、110

万 hm^2 农田被淹，受灾人口 1100 万，8.56 万人死亡；毁房 560 万间；京广铁路被冲毁 102km，中断行车达 18d 之久。

(3) 1991 年江、淮特大洪灾。1991 年江淮地区提早 1 个月进入梅雨季，5 月淮河水系平均降雨 176mm，是常年的 2.1 倍，暴雨中心吴店最大 1d 降雨 273mm，最大 3d 降雨 536mm，引起江湖水位猛涨。正阳关站和蚌埠站洪峰水位分别为 26.51m 和 21.98m，居新中国成立以来第二位；太湖湖区平均高水位 4.79m，高出历史最高平均水位 0.14m。这次大洪水，造成淮河及太湖流域受灾耕地 590 万 hm^2，损失粮食 74.2 亿 kg，2 万多家工矿企业停产，津浦、淮南、淮阜等铁路干线几度中断，直接经济损失 453 亿元。

(4) 1998 年长江流域特大洪灾。1998 年长江大洪水仅次于 1954 年，为 20 世纪第二大全流域型洪水。长江干流宜昌市先后出现 8 次洪峰，中下游干流沙市—螺山、武穴—九江河段以及洞庭湖、鄱阳湖水位多次突破历史最高记录。干流荆江河段洪水位超过 1954 年最高洪水位 0.55～1.25m，时间长达 40 多 d。8 月 7 日 13 时左右，长江九江段决堤 30m 左右。长江下游和洞庭湖、鄱阳湖共溃垸 1075 个，淹没总面积达 32.1 万 hm^2，耕地 19.7 万 hm^2，涉及人口 229 万人，共死亡 1562 人。

3. 洪涝特性的时变性

近年来，由于滨江地区经济社会的高速、持续发展，土地利用性质、地形特征、水利工程、水系、水资源需求、水生态环境均发生不同程度的变化，尤其是人类活动影响显著的地区，使得当地水文情势发生了变化，如地表径流系数增加、河道蓄水库容减少、地面下沉、上游下泄流量增加等，常常造成洪涝特性随区域发展而产生不利的变化，且洪涝损失量值随地区经济发展不断增加。

随着中国城乡结构的变化，洪水灾害在城乡间的分布也发生了变化。直到 20 世纪 60～70 年代，中国作为农业大国，农业在国民经济中一直占据较大的比重，粮食生产在国民经济中有举足轻重的作用，洪水灾害损失的主要部分为农作物损失。之后，中国城市化发展速度较快，截至 2003 年，中国城市人口已达 5.4 亿人，城市化率已达到 40.6%，城市 GDP 占全社会 GDP 的 60%～70%，而相对于城市化速度，中国的城市防洪安全建设相对滞后，因此，城市洪灾经济损失越来越突出。1991～1998 年，进水受淹的县级以上城市约有 700 座次。

第15章 防洪安全校核

15.1 防洪安全校核目的和原则

15.1.1 防洪安全校核的目的

在水资源综合规划中，水利工程可能涉及到水安全、水资源、水环境、水生态、水景观及航运等多种用途，规划后的工程条件和调度方式会根据地区水利发展和社会需求进行调整和变更，必然会影响到水系布局和水体原来的流态，使河道断面的水位、流量发生改变，也使得地区的洪涝特性发生变化。因此，为了保证区域安全，必须综合分析规划工程及非工程措施对防洪的影响，这就需要结合当地的水资源、水环境、水景观、航运及水系规划，通过水文水力模拟计算，分析各种规划条件下河道控制断面的水位、流量过程，校核水资源综合规划方案是否满足地区防洪安全需求，如果不满足则需对方案进行调整，或增加必要的防洪措施。在以往很多水利专项规划中，如水资源规划、水环境规划、水运规划、水生态规划、防洪规划等，往往是相互割裂、相互矛盾的，不利于发挥水利综合效益，甚至使得一些规划成为“纸上画画、墙上挂挂”的“花瓶”，制约了规划的可实施性，也影响了区域防洪安全。建立在水资源综合规划基础上的防洪安全校核，可以综合考虑安全、资源、环境的效益，在确保防洪安全的同时，有利于水资源一体化管理和合理开发利用，最大限度地满足当地经济社会发展需求。

由于滨江地区洪涝致灾的地理、气象、水文因素的综合影响，随着城市发展和城乡排涝能力提高，造成河道洪量集中，洪峰增大；一些地区对土地利用的急功近利，造成对河道的不合理填埋，使得水域面积逐年减少，降低了地区对洪水的调蓄能力，致使骨干河网的洪水位变高，增加了防洪压力；地区经济的发展，也使得同等洪水所造成的经济损失增大。与此同时，经济社会的发展对地区防洪提出更高的要求，需要制定一个既能满足水资源、水环境、水生态保护要求，又能保证地区防洪安全的规划方案。因此，只有在水资源综合规划安全校核基础上，才能制定一个良好的防洪规划方案，从站在有利于地区经济社会健康发展的高度，确定区域防洪建设的方向、总体布局、建设规模、安全标准及主要治理措施，保证地区安全和人民安居乐业，较好地协调地区经济社会发展与防洪排涝规划建设之间的关系。

在防洪安全校核工作中，应认真贯彻我国治水新思路，充分体现了人与自然和谐的理念，妥善处理改造自然与适应自然、控制洪水与规避风险、防洪与减灾等关系，科学安排洪水出路，强调非工程防洪措施，建立现代防洪管理制度，减少和规避洪水风险。要特别注意统筹防洪减灾与水资源综合利用、生态环境保护的关系，充分考虑了洪水资源利用和生态环境改善的需要，使防洪工程既能发挥抗洪减灾作用，又能获得水资源开发利用、水资源配置和生态环境保护方面的综合效益。

具有这些新特点的保障区域安全的防洪规划，既是防洪减灾体系建设的依据，又是政府加强防洪减灾社会管理的依据，同时也是约束社会涉洪行为的准则，有利于完善区域综合防洪减灾体系，提高总体防洪减灾能力，促进区域水资源的可持续开发和利用。

15.1.2 防洪安全校核的原则

在进行水资源综合规划防洪安全校核中，必须严格依据国家有关的防洪法规，分析区域经济社会发展的需求，通过广泛的调研，对区域洪涝灾害致灾的地理、地质、气象、水文等自然因素，以及经济、社会因素具有深刻的了解，特别要注重人类活动对当地洪涝特性的影响，抓住主要矛盾，因地制宜地制定相应的防洪规划方案。

在进行防洪安全校核中应该遵循以下原则：

(1) 与流域防洪规划相衔接，与区域或城市总体规划相协调，使制定的防洪规划方案在一个较长的时期内具有指导作用。

(2) 结合经济社会发展的水平和远景规划，提高防洪标准，切实保障经济社会发展和人民生命财产的安全，有利于改善投资环境，促进经济社会协调发展。

(3) 坚持“全面规划，重点突出，先急后缓，分期实施”的原则，以经济效益和社会效益为指标，有效解决现状与未来防洪存在的问题。

(4) 统筹安排，妥善处理好外洪内涝关系，根据水系特点、水利工程现状和下垫面特性，按照“高水高排，低水低排”的原则，合理调整防洪水利片，根据水力计算结果，合理确定各片区防洪控制高程。

(5) 统筹兼顾水资源、水环境、水景观、水运及水系等涉水规划，因地制宜地制定防洪规划方案，以获取最大的社会经济效益。

15.2 技术路线和主要工作内容

15.2.1 技术路线

防洪安全校核要充分考虑水资源、水环境、水生态、水景观、航运规划，与水资源综合规划中的水利工程布局及调度方式充分协调，依据经济社会可持续发展对防洪安全保障的需求，按照国家、地方有关的防洪法规及其他相关法规，编制防洪规划方案。

在平原河网区域，河道汇水面积不闭合且水流顺逆不定，水文部门很少观测流量，但水位资料相对比较丰富。可以通过显著性检验、经验分析等途径，检验水位资料系列的一致性，用以判断是否可以采用频率分析方法推求河湖设计洪水位。滨江地区土地利用复杂，人类活动影响显著，水文资料的一致性受到影响，不能采用频率计算的途径由水位或流量资料直接推求设计洪水位或设计流量。一般，降雨受人类活动影响相对较小，可以根据降雨资料，采用由设计暴雨采用水文水力计算模型推求设计洪水的途径。以南京市为例，示范防洪安全保障规划技术路线如图 15.1 所示。

15.2.2 主要工作内容

编制防洪规划必须经过收集资料、灾情分析、确定标准、拟订方案、分析计算、方案筛选、制定实施计划的过程。

1. 资料收集与灾情分析

需要收集的主要是与防洪规划有关的各类资料，包括流域防洪规划、城市防洪与排水

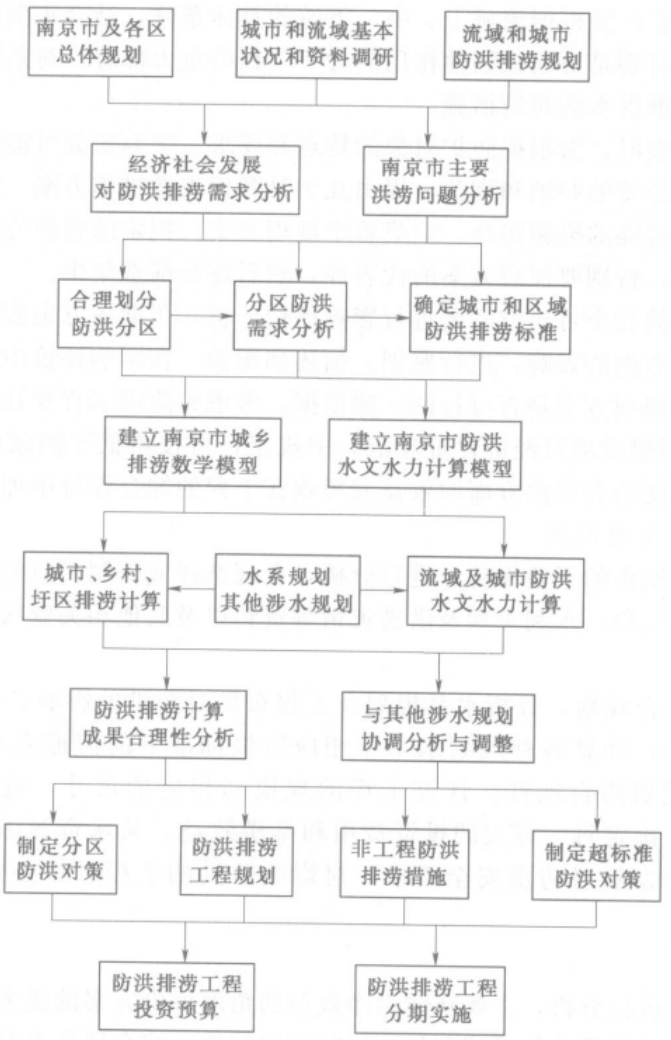


图 15.1　南京市防洪安全保障规划技术路线

规划、城市总体规划、土地利用规划、区域发展规划、农业规划、公路及航运规划，土壤和地形资料、水文气象观测数据、水利工程设计资料，历史洪涝灾害情况等，同时应深入现场进行调查。在此基础上，分析研究江河洪水灾害成因、特性和规律，掌握主要河道及现有防洪工程的状况和防洪、泄洪能力。

2. 确定防洪标准

根据区域地形地貌、水系特点、土地利用分布、水利工程布局、不同地区洪水灾害的严重程度、地理条件和社会经济发展的重要性，进行防洪分区，确定各分区的防洪目标及防洪要求，并根据国家规定的各类防护对象的防洪标准幅度范围，结合当地经济状况、现有工程条件、地区发展对防洪的要求，通过技术经济论证，选定相应的防洪标准。

3. 拟定防洪方案

除本地区降水影响外，区域洪水还受流域上游洪水威胁和下游水位的顶托；而区域防洪措施，也在一定程度上给上下游、左右岸带来影响。只有把整个流域作为研究对象，才

能全面治理洪水灾害。要根据流域上、中、下游的具体条件，结合水资源的综合开发来拟定防洪整体方案，特别是对起控制性作用的骨干工程的重大部署。对重要防护地区、河段还应制定防御超标准洪水的对策措施。

在拟定防洪方案时，需根据防护对象的特点和要求，统筹研究可能采取的蓄、滞、泄等各种措施，进行必要的归纳和淘汰，提出几个具备代表性措施方案，然后结合水资源综合利用，研究多种可能的措施组合，组成若干规划方案。拟定的各种方案，应能够反映各种不同意见和要求，特别要注意方案的代表性，然后逐步筛选集中。

对初步筛选出的几个可比方案要进行影响评估分析，预期各方案实施后可能产生的经济、社会、环境等方面的影响，进行鉴别、描述和衡量。在影响评价中，传统的经济效果评价仍是研究防洪规划方案是否可行的一项依据。考虑到防洪工程属社会公益性项目，根据 SL72—94《水利建设项目经济评价规范》中规定，可按略低于国家要求的社会折现率进行评价，并尽可能结合其他方面的效益或影响在工程的综合评价中加以衡量。

4. 分析计算及方案调整

对平原河网区城市的下垫面特点进行分析，合理选择或研制相应的产汇流模型，通过历史实测的水文、气象、水利工程及洪涝灾情等资料以及其他相关资料，对模型的参数进行率定及检验。

针对水资源综合规划，分析水系规划及工程布局对防洪的影响，通过水文学与水动力学相结合的方法，计算各种规划水平年相应防洪标准下的河道洪水位，检验区域的安全状况及工程规划的合理性。计算工程的规模和相应的尺寸，进行工程量、投资、效果的初步分析，确定每一方案的投资费用和排涝效益。从水资源综合规划整体考虑，按照区域经济社会发展对防洪安全需求，对影响防洪的工程进行必要的调整，并制定相应的安全措施。

5. 方案筛选

根据计算结果进行分析，主要从防洪净效益的角度评价方案的优劣，同时兼顾考虑区域社会经济发展要求和目前的经济条件，进行方案筛选。综合评价方案实施后可能的影响包含了对经济、社会、环境等的有利与不利的影响。由于社会和环境影响一般难以采用货币精确衡量，只能针对特定问题的性质以某些方面的得失作为衡量标准。有关环境影响评价，除了要对重点工程进行评价外，也要对总体方案从宏观上进行评价。提出消除或减少不利影响的措施。

各防洪方案实施后产生的诸多影响，实质上是不同方案对各个规划目标所能实现的程度的具体体现。在保障地区防洪安全的前提下，根据区域经济社会发展的需求，有的要求更有利于某一目标（如经济指标最优），有的则要求更有利于另一目标（如改善环境质量最优），有的兼顾了几个目标要求。综合评价的核心问题即针对规划的侧重点对各种影响赋以不同的社会价值，以便在相互竞争、相互矛盾的目标间全面衡量，有所取舍。进行综合评价，要通过多种形式，广泛听取各方面的意见。一般的评价准则包括：公众的满意程度，目标的确定性，实现目标的可靠性，满足目标要求的有效性，规划的经济性，对社会各方面的公平程度，对环境的影响程度，规划涉及范围的准确性，规划的可逆性及对远景规划的稳定性等，最终提出推荐方案。

6. 实施计划

选定推荐方案后，根据需要按轻重缓急制定分期实施计划，提出不同实施阶段的工程管理、防洪调度和非工程措施的方案。近期工程安排是分期实施计划中最重要的环节，需比较详细的制定，原则上应能满足防护对象较迫切的要求，较好地解决流域内存在的主要问题，同时工程所需资金、劳力与现实国民经济水平相适应。为便于安排计划，还应进行有关实施程序的研究，并且提出工程方案未完全建成生效的时期内，遭遇不同洪水时的对策。

15.3 防洪规划的编制依据

在防洪安全保障规划方案编制工作中，必须通晓我国现有涉及到防洪的法律法规，才能指导我们的工作。我国在国家层面上的防洪法律法规分为以下几个层次：第一是全国人大通过的基本法律；第二是由国务院颁发的行政法规；第三是由国务院行政主管部门批准颁布的国家标准和行业标准。以下列出一些常用的国家级防洪法律法规及行业技术规范：

《中华人民共和国防洪法》，中华人民共和国主席令第88号，1997年8月29日第八届全国人民代表大会常务委员会第27次会议通过，1998年1月1日起施行；

《中华人民共和国水法》，中华人民共和国主席令第61号，1988年1月21日第六届全国人民代表大会常务委员会第24次会议通过，1988年1月21日公布，1988年7月1日起施行；

《中华人民共和国水土保持法》，中华人民共和国主席令第49号，1991年6月29日第七届全国人民代表大会常务委员会第20次会议通过并颁布实施；

《中华人民共和国防汛条例》，1991年7月2日中华人民共和国国务院令第86号发布，2005年7月15日中华人民共和国国务院令修订施行；

《中华人民共和国河道管理条例》，1988年6月3日国务院第7次常务会议通过，1988年6月10日发布施行；

《水库大坝安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第78号，1991年3月22日发布施行；

《长江河道采砂管理条例》，中华人民共和国国务院令第320号，2001年10月10日国务院第45次常务会议通过，自2002年1月1日起施行；

《蓄滞洪区运用补偿暂行办法》，中华人民共和国国务院令第286号，2000年5月23日国务院第28次常务会议通过并发布施行；

SL 201—97《江河流域规划编制规范》，水利水电规划设计总院、水利部长江水利委员会主编，中华人民共和国水利部颁布，1997年6月24日发布，1997年7月1日实施；

CJJ 50—92《城市防洪工程设计规范》，中国市政工程东北设计院主编，中华人民共和国建设部批准，1993年7月1日发布并实施；

GB 50318—2000《城市排水工程规划规范》，中华人民共和国建设部批准，2001年6月1日实施；

GB 50201—94《防洪标准》，水利水电规划设计总院主编，中华人民共和国建设部批

准，1995 年 1 月 1 日实施；

SL 252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》，水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院主编，中华人民共和国水利部批准，2000 年 7 月 13 日发布，2000 年 8 月 1 日实施；

SL 44—93《水利水电工程设计洪水计算规范》，水利部长江水利委员会、水利部南京水文水资源研究所主编，中华人民共和国水利部能源部批准，1993 年 3 月 11 日发布，1993 年 12 月 20 日实施；

SL 278—2002《水利水电工程水文计算规范》，水利部长江水利委员会水文局主编，中华人民共和国水利部批准，2002 年 9 月 19 日发布，2002 年 12 月 1 日实施；

SL 104—95《水利工程水利计算规范》，水利部长江水利委员会主编，中华人民共和国水利部批准，1995 年 12 月 8 日发布，1996 年 5 月 1 日实施；

GB 50288—99《灌溉与排水工程设计规范》，国家质量技术监督局、中华人民共和国建设部批准，1999 年 3 月 2 日发布，1999 年 8 月 1 日实施；

SL/T 4—1999《农田排水工程技术规范》，中国水利水电科学研究院主编，中华人民共和国水利部批准，1999 年 12 月 3 日发布，2001 年 1 月 1 日实施；

SL 196—97《水文调查规范》，南京水文水资源研究所主编，中华人民共和国水利部批准，1997 年 5 月 16 日发布，1997 年 6 月 1 日实施；

SL 45—2006《江河流域规划环境影响评价规范》，中水淮河工程有限责任公司、水利部水利水电规划设计总院主编，中华人民共和国水利部批准，2006 年 10 月 23 日发布，2006 年 12 月 1 日实施；

SL 260—98《堤防工程施工规范》，水利部淮河水利委员会主编，中华人民共和国水利部批准，1998 年 10 月 27 日发布，1998 年 11 月 1 日实施；

GB 50286—98《堤防工程设计规范》，水利部水利水电规划设计总院主编，中华人民共和国建设部批准，1998 年 10 月 15 日实施；

SL 171—96《堤防工程管理设计规范》，水利部水利管理司、湖北省水利水电勘测设计院主编，中华人民共和国水利部批准，1996 年 9 月 10 日发布，1996 年 10 月 1 日实施；

SL 258—2000《水库大坝安全评价导则》，水利部大坝安全管理中心主编，中华人民共和国水利部批准，2000 年 12 月 29 发布，2001 年 3 月 1 实施；

SL 206—98《已成防洪工程经济效益分析计算及评价规范》，水利部水利管理司、水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院主编，中华人民共和国水利部批准，1998 年 3 月 11 日发布，1998 年 5 月 1 日实施；

SL 250—2000《水文情报预报规范》，水利部水利信息中心主编，中华人民共和国水利部批准，2000 年 6 月 14 发布，2000 年 6 月 30 实施；

《水功能区管理办法》，水资源［2003］233 号，中华人民共和国水利部批准，2003 年 5 月 30 日发布，2003 年 7 月 1 日实施。

目前，国家防汛抗旱总指挥部办公室正在编制《水库防洪应急预案编制导则》。

在我国经济社会不断发展的过程中，防洪法律和法规也会根据社会需求不断改进和完善，可能是以新的法律法规取代老版本，或对原有法律法规进行修订，也可能是制定全新

的法律法规。因此，在区域防洪规划、设计及研究中，应该注意采用最新的防洪法律和法规指导我们的工作。防洪法律法规常常会附带文本说明，作为法律法规正文解释，同样具有法定效率，必须认真理会。

针对国家的防洪法律法规，各省（直辖市）等地方政府和部门根据当地的实际，也会颁布地方性法规、办法及实施意见。例如，为了控制太湖流域东部平原地区地面下沉、洪潮倒灌问题，2000 年 8 月 26 日江苏省九届人大常委会第 18 次会议通过了《关于在苏锡常地区限期禁止开采地下水的决定》，这个决定的实施使得乱采地下水的行为得到禁止，地面下沉现象得以有效控制。针对在长江、黄河等行洪河道无序采砂，造成河势不稳、岸坡崩塌、水利工程遭损等问题，许多省市对河道采砂出台了相关法规，如《安徽省人民政府关于在长江河道安徽段禁止采砂的规定》，2000 年 10 月 20 日省人民政府第 64 次常务会议通过并发布施行；《兰州市城市规划区黄河河道采砂管理暂行规定》，2003 兰州市人民政府令 2 号令颁布，2006 年兰州市人民政府 10 号令修正实施。这些地方法规同样是我们进行防洪工作的依据。

除了国家法律、法规、行业标准外，防洪安全校核制定防洪规划方案时还必须服从上一级规划，如流域防洪规划、国土规划等，还要与已经批准的部门规划相协调，如城市总体规划、水环境规划、交通规划、农业规划等。

15.4 防洪安全校核中的若干关系分析

15.4.1 区域防洪规划与流域防洪规划

在滨江地区水资源综合规划防洪安全校核中，需要制定区域性防洪方案或区域防洪规划，区域防洪规划与流域防洪规划是紧密相关的。在防洪规划的原则中，区域防洪规划应该服从流域防洪规划，即在不影响流域防洪规划的前提下，从事区域防洪规划。但实际操作中，很多防洪问题并不是区域防洪规划所能够解决的，区域防洪工程未必能够抵御突发性和严重的流域性洪水，如江河决堤、水库湖泊溃坝等。因此，区域防洪规划与流域防洪规划存在协调，流域防洪规划必须考虑到流域性洪水状况下保证区域的安全，尤其是城市的安全，必要时采用紧急措施保护城市。区域防洪立足于区域防洪措施解决区域洪涝问题，在无法解决时应向流域水利主管部门提出可行的解决方案或协调措施，流域水利主管部门在必要情况下可以组织对流域防洪规划设计方案进行适当修改。随着城市经济在国民经济中所占比重的日益增加，城市防洪的地位日益提升，城市防洪规划与流域防洪规划的经济效益将更趋一致。

15.4.2 城市防洪规划与城市总体规划

防洪安全校核中涉及到城市防洪规划，而城市防洪规划是城市总体规划的分项专业规划，是城市总体规划的一部分。城市防洪规划既要服从城市总体规划，又必须与城市总体规划相互协调，在必要情况下引导城市总体规划，以有利于城市防洪规划的开展和实施。根据国内外城市防洪规划的经验，城市防洪应渗透到城市规划中，作为城市发展规划的基础，尽可能在城市总体规划前拿出城市防洪规划的蓝本，按水利远景建设和有利于城市可持续发展的要求制定城市总体规划。认为先制定城市总体规划，然后服从总体规划来制定城市防洪规划的方式，不利于科学制定和有效实施城市防洪规划。

15.4.3 防洪规划与水环境

滨江地区水资源从量上而言是较为丰富的，但水质经常受到人类活动的影响，造成水质型缺水。尤其是经济较为发达的城市区域，水环境污染问题更为严重，不但影响到水资源，而且影响到城市景观和日常生活。在一些地区，水环境问题已成为最迫切要解决的问题。因此，在防洪规划中，必须考虑有利于水环境的改善，绝对不能加剧当地水环境的恶化。具体的措施是在防洪规划中强调水系的沟通和流通，有利于河道调水冲污，保持和增加河道水面积和调蓄能力以增加河道环境容量，建立生态型河道排水系统，结合河道整治进行水环境治理，研究以洪养河、以洪治污等方案、论证防洪工程对水环境的影响等。

15.4.4 防洪规划与交通运输

滨江地区地势平坦，随着防洪标准的提高及景观建设的需求，以圩垸形式抵御外洪的方式得到很多应用，防洪控制建筑也相应增加，使得区域河道通航受到限制。防洪规划应充分了解航运对当地经济的影响程度，合理协调与防洪与航运关系。有人认为随着陆地公路网的建设和健全，陆地交通运输可以替代水运。但水运是成本最低的运输方式，尤其是运输特大型货物，具有其他运输方式无法替代的优势。近年来对外交流显著加强，航道在对外交流中的枢纽作用开始显得重要，防洪规划中应该认真研究如何尽可能少影响航运，使得洪水河道建设与航道建设保持协调，加强诸如大型巨轮进入内河、航道沟通、船闸修建及收费等问题的研究。

15.4.5 防洪规划与城市景观

随着经济发展、对外开放及人们生活水平的提高，人们愈来愈重视水景观建设。从国内外旅游景观分析，水景是景观中最重要的环节。我国一些经济发达的地区，已经从过去的填河建楼变成为开河挖湖造景，尤其是在城区，景观河道已经成为城市美化的亮点。一些防洪规划中，景观河道两侧的功能区已经扩充到 200m 以上。结合防洪调蓄要求，河湖景观也是防洪规划中不可缺少的一环。因此，防洪规划不考虑城市景观，已经不能满足区域和城市近期和远景发展要求，也不能成为一个合格的现代化防洪规划。

15.4.6 防洪工程与非工程措施

在防洪规划中，非工程防洪措施是非常重要的，它具有防洪工程措施本身不兼备的功能，且投资费用相对较少。防洪工程措施只有与非工程防洪措施相互结合，才能有效发挥和提高防洪功能和效果。由于非工程措施往往是无形的，容易受到人们的忽视，在防洪规划中仅作为点缀，这在很多地区防洪规划中都有体现。

制定非工程防洪措施必须有现代化观念、科学态度、先进技术、对当地洪涝特性的了解。而许多从事防洪规划的技术人员乃至技术主管人员缺乏有关知识和能力，不利于非工程防洪措施科学制定和有效实施。目前，需重点加强关于流域及城市暴雨和洪水预报、警报系统，防洪调度、管理系统，特大洪涝风险预测和抢险系统，防洪排涝管理法令、政策的制定实施，城市突发洪涝灾情处理，防洪保险等方面的研究。

第 16 章　防洪排涝标准确定及衔接

16.1　防洪标准的确定

16.1.1　防洪标准的确定原则

防洪标准是防洪保护对象要求达到的防御洪水的标准，关系到防洪工程规模、投资及建设期限等问题。在确定防洪工程设计标准时，要考虑防护对象在国民经济中地位的重要性。滨江地区人口稠密，财富集中，一旦被洪水淹没将造成巨大的经济损失并带来严重的社会影响，所以要求达到的防洪标准往往很高。但防洪标准的选定还要取决于人们控制自然的实际可能性，包括工程技术的难易、所需投入的多少等。一般说，要求通过防洪控制使其完全符合人们的愿望是难以做到的。进行防洪治理，只能根据一定的投入，力求最大限度地适应各方面的需求，并使可能受到的损失和影响限制在国民经济与社会发展所能承受的风险之内。防洪标准越高，需要的投入越多，承担的风险越小；相反，标准越低，投入越少，承担的风险越大。因此，采用的防洪标准实质上是国家在一定时期中技术政策和经济政策的具体体现，要在防洪规划中根据任务要求，结合地区的经济状况和工程条件，通过经济技术论证选定。

国家计委委托水利水电规划设计院为主编单位，于 1993 年提出中华人民共和国国家标准 GB 50201—94《防洪标准》报批稿，1994 年 6 月经建设部批准，由国家技术监督局和建设部联合发布，为强制性国家标准，自 1995 年 1 月 1 日起施行。

GB 50201—94 由正文和条文说明两大部分组成。正文分为总则、城市、乡村、工矿企业、交通运输设施、水利水电工程、动力设施、通信设施、文物古迹和旅游设施九章。总则阐明制定 GB 50201—94 的目的、适用范围、选定防洪标准的共性要求和与有关标准、规范的关系，其他各章分别规定了各类防洪对象的等级划分和防洪标准。正文共计 67 条，针对正文各条编写了相应的条文说明。

GB 50201—94 是在总结国内外防洪建设经验和防洪标准的基础上，根据现阶段我国国民经济和社会发展水平，国家、地方和群众的承受能力，按照各类防洪对象的重要性，分为不同的等级，并统一以洪水的重现期规定其应达到的防洪标准。由于有防洪要求的防洪对象很多，防洪的性质差异很大，GB 50201—94 既规定了应达到的基本的防洪安全要求，又留有结合具体情况、灵活掌握、适当高于或低于规定标准的余地。GB 50201—94 适用于城市、乡村、工矿企业、交通运输设施、水利水电工程、动力设施、通信设施、文物古迹和旅游设施等防护对象，防御暴雨洪水、融雪洪水、雨雪混合洪水和海岸、河口地区防御潮水的规划、设计、施工和运行管理工作。GB 50201—94 中涉及城市和乡村防护区的等级和防洪标准见表 16.1 和表 16.2。

表 16.1　　城市的等级和防洪标准

等　级	重要性	非农业人口（万人）	防洪标准（a）
Ⅰ	特别重要的城市	＞150	＞200
Ⅱ	重要的城市	50～150	100～200
Ⅲ	中等城市	20～50	50～100
Ⅳ	一般城市	＜20	20～50

表 16.2　　乡村防护区的等级和防洪标准

等　级	防护区人口（万人）	防护区耕地面积（万亩）	防洪标准（a）
Ⅰ	＞150	＞300	50～100
Ⅱ	50～150	100～300	30～50
Ⅲ	20～50	30～100	20～30
Ⅳ	＜20	＜30	10～20

堤防工程是滨江地区最重要防洪工程措施。建设部 1998 年 10 月 15 日批准实施的 GB 50286—98《堤防工程设计规范》，堤防防洪标准应依据防护区内防护对象的最高防护标准确定，堤防的级别及安全加高见表 16.3。

表 16.3　　堤防工程的级别

防洪标准［重现期（a）］		≥100	50～100	30～50	20～30	10～20
堤防工程的级别		1	2	3	4	5
安全加高（m）	不允许堤防越浪	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5
	允许堤防越浪	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3

新中国成立以来，我国修建了大量的防洪工程，并经受了历次洪水考验，对保护区域生产秩序和人民生命财产安全起到了积极作用，但部分地区和城市防洪标准偏低，汛期仍受洪水威胁，甚至出现严重洪灾，今后防洪建设中应该按照 GB 50201—94 要求，适当提高防洪标准。在防洪规划中确定防洪标准时，还应考虑以下几项基本事项：

（1）充分调查研究历次洪水的成因及灾害情况，防护对象在国民经济中的作用、受洪水威胁的程度、洪水所造成的淹没损失、工程修复难易程度以及人口多少等。

（2）根据地区防洪建设的需要与投资的可能，全面规划，分期实施，对近、远期工程分别定出不同的防洪标准。

（3）在同一区域中，可以根据主城区、郊区、农业区、分滞洪区等不同防护对象的重要性，采用不同的防洪标准。

（4）城市防洪规划应与流域防洪规划相适应，一般不得低于流域规划的防洪标准。

例如，南京市作为长江的一座重要滨江城市，主城区非农业人口 213 万人，属特别重要的城市。规划防洪标准近期为 100 年一遇，远期为 200 年一遇；郊县城区近期为 50 年一遇，远期为 100 年一遇；其他地区近期为 20 年一遇，远期为 50 年一遇。

16.1.2　防洪效益的计算

确定防洪标准是一项很复杂的工作，确定防洪标准的重要依据是防洪效益，防洪效益

计算是否正确关系到防洪标准确定的合理性。

如果有比较充分的各种淹没情况下洪涝损失灾情统计资料，则对于一个防洪方案，可以分别求出方案实施前后的多年平均洪灾损失，两者之差即为该防洪方案的防洪效益。一个完善的防洪方案必须考虑工程防洪措施与非工程防洪措施的组合，必须综合考虑工程防洪措施与非工程防洪措施的共同防洪效益。对于含有综合利用效益的防洪工程的防洪方案，费用项的计算应根据投资分摊的计算方法合理确定防洪方案的工程投资。

在防洪效益的分析计算的基础上，对于每一个防洪方案，必须就保护范围内工程投资和年运行费用的进行计算，然后按效益费用比、净效益最大或经济内部回收率等评价方案分析各方案经济上的优劣。

防洪系统作为一个整体，可以采用经济效益费用比或防洪减灾净效益作为减灾经济效益的评价指标。记 B 为防洪方案的效益，C 为防洪方案的投资运行费用，则防洪方案经济效益费用比 D 可表达为

$$D=\frac{B}{C} \tag{16.1}$$

防洪方案的净效益 E 为

$$E=B-C \tag{16.2}$$

当 $D\geqslant 1.0$ 或 $E\geqslant 0$，说明防洪减灾方案在经济上是合理可行的。

按照减灾效益评价的常规方法，在防洪效益经济评价中，应该遵循费用与效益计算口径一致的原则，投入和产出都应使用影子价格；当测算影子价格有困难时，可采用灾前年底国内市场价格。防洪方案经济效益和费用项都必须按统一的基准年（如规划方案全部投入运行的第一年）、计算期及规定的贴现率，根据效益或费用的时序流程图分别折算为现值（或年金）。由于随着国民经济的发展，洪灾损失及防洪方案的防洪效益将具有某种递增的趋势，因此不能用前述防洪方案的多年平均效益作为固定不变的年效益来考虑防洪方案的防洪效益，而应在多年平均效益值的基础上，计入某种形式的逐年递增率。

不同的防洪方案由于其防洪措施的规模和组成不同而具有不同的防御洪水的能力。可按各方案的净效益为依据，选取净效益最大的方案作为经济上最佳的防洪方案。

在防洪经济分析中存在两类不同性质的课题。其一是对于给定的防洪标准寻求满足此标准的最优的防洪规划方案；其二是论证最佳的防洪标准。

上述关于防洪标准论证的结果，仅能作为选择防洪标准的参考。防洪经济分析中只能计入直接的和间接的洪灾损失，而不能计及不能用货币表示的无形损失。防洪规划中往往必须同时考虑技术、经济、环境及政治等多方面因素，综合论证，合理选定防洪标准。

16.2 城市化地区排涝与排水标准的衔接

16.2.1 设计标准的讨论

一般，上游或周边地区的入境的洪水（客水）引起的水灾称为洪灾，防御客水称之为“防洪”；防御区域本身暴雨引起的水灾称为“涝灾”，排除当地的涝水称之为“排涝”。习惯上将排除农田中的涝水称为“除涝”，排除河网中涝水称为“排涝”，排除城市地面积水称为“排水”。防洪、排涝、排水是紧密相关的，在防洪校核计算中必须作为一个系统共同规划。

在正常情况下，按照水文计算的理论和实践，在同一区域或城市，为了保证排水系统的正常运行，防洪标准通常高于河网排涝标准，河网排涝标准又高于城市排水标准或农田除涝标准。例如，上海市主城区黄浦江的防潮标准为1000年一遇，对上游客水的防洪标准为100年一遇，内河排涝标准为20年一遇，城市管道排水标准为1年一遇。

长期以来，我国城市水利规划建设分属市政和水利两部门管理，在技术上带来一些矛盾。尤其是水利行业的区域排涝与市政部门的城市排水在规划标准、计算方法、工程设计等方面存在不一致和不衔接的情况，造成区域或城市水利规划设计难以把握，不能满足21世纪对现代水利规划工作的需求，这是水务一体化管理中急需解决的重要问题。为此，针对城市管网与河道排水相衔接的城市排涝标准和相应的计算方法进行深入研究，找出区域排涝和市政排水标准之间的关系，得出一套适合防洪排涝规划设计的统一标准。

目前国内外通用的水文样本的选样方法有年最大值法、年多次法、超定量法、年超大值法4种。

(1) 年最大值法。每年选取一个时段雨量最大值，n年资料可选出容量为n项年极值样本系列。

(2) 年多次法。每年选取最大的k次暴雨的时段雨量值，由n年资料得出容量为nk项样本系列。

(3) 超定量法。考虑到各年出现的大暴雨的次数是不同的，根据当地暴雨的特性，选取一个下限值，每年超过此限的次暴雨均被选取。

(4) 年超大值法。把n年的全部次雨量资料看作一个整体，从中选出最大的n次雨量组成一个样本。此法相当于以第n项暴雨作为超定量选样的下限值，是超定量法的特例。

由于这四种选样方法的差异，得出的频率计算结果并无一致性，造成不同依据选样方法得出排水、排涝标准不衔接，使得技术人员在城市排水规划时产生困惑。因此，需深入研究不同选样方法得出的设计值、设计频率或重现期之间的定量关系。

16.2.2 各种选样方法设计值之间的关系分析

本项研究中以江苏省若干城市为研究重点，收集选择雨量资料，分别采用年最大值法、年多次法、超定量法、年超大值法等不同选样方法得出相应的统计样本，采用P—Ⅲ型曲线为雨量总体分布曲线，推求各种频率下的设计雨量及其暴雨公式，定量分析各种选样方法结果之间的对应关系，探讨在城市防洪排水规划中统一标准的可能性。

在确定了频率曲线及其统计参数后，可以计算相应频率下的雨强及雨量设计值。必须注意，在分析研究中均采用年频率。

年最大值法和年超大值法采用的是年频率，设计值可以直接从频率曲线上查取

$$P_1 = \frac{m}{n+1} \tag{16.3}$$

式中 P_1——年频率；

m——样本项取值大小序号；

n——取样年数。

年多次法和超定量法的总样本数按次统计，采用的是次频率

$$P_2 = \frac{m}{N+1} \tag{16.4}$$

式中 P_2——次频率；

N——取样次数，如果每年平均取样 k 次，总次数为 $N=kn$。

按水文统计学原理，次频率 P_2 和年频率 P_1 之间的对应关系为

$$P_2 = P_1 \frac{n+1}{N+1} \tag{16.5}$$

采用年多次法和超定量法推求设计值时，要根据式（16.5）把年频率转化成相应的次频率，然后才能从次雨量频率曲线上读取相应的设计值。这样，各选样设计值对应的频率（或重现期）才能一致。在此基础上，年最大值法设计值与其他选样法得出设计值进行比较分析，找出它们之间的关系。

由于当重现期为 1 年时，年最大值法设计值定义不明确，无法与其他选样法得出设计值进行比较。根据统计选样的方法和原理，当重现期大于 1 年时，年超大值法的设计值与超定量法的设计值基本相同，因此可以用超定量法设计值代表年超大值法的设计值。

根据江苏省 5 个典型城市雨量资料，分析得出 2 年和 5 年重现期时，年最大值法与年多次法、年最大值法与超定量法设计值之间的相关关系，如图 16.1～图 16.4 所示。由图 16.1～图 16.4 可知，年最大值法设计值小于年多次法与超定量法；但随着重现期增大，设计值之间的差别减少。当重现期等于 2 年时，年多次法与超定量法设计值比年最大值法设计值大 15%～20%；当重现期等于 5 年时，年多次法与超定量法设计值仅比年最大值法设计值大 3%～5%；当重现期大于等于 10 年时，年最大值法设计值与其他选样法设计值基本相等。

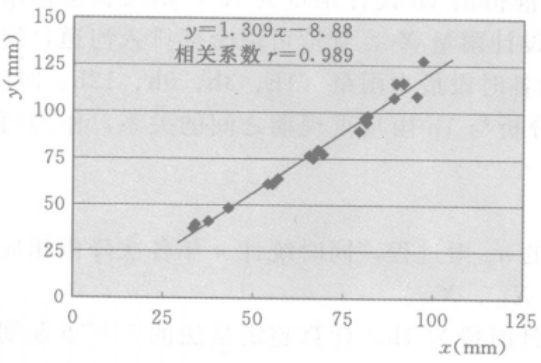


图 16.1 年最大值法设计值（x）与年多次法设计值（y）的相关关系（$T=2$ 年）

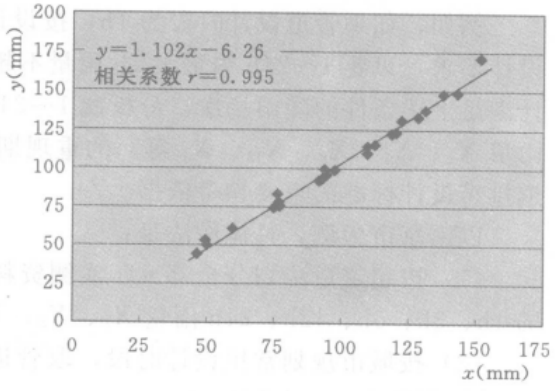


图 16.2 年最大值法设计值（x）与年多次法设计值（y）的相关关系（$T=5$ 年）

16.2.3 超定量法与年最大值法设计重现期分析

我国管道排水设计流量计算中采用的暴雨公式，其选样方法采用超定量法；城市及区域河道采用的暴雨公式或暴雨频率计算采用的选样方法是年最大值法。根据江苏省城市 1h、3h、6h、12h、24h 设计雨量，雨量资料统计分析，得出的年最大值法与超定量法的年频率或重现期之间的经验关系，见表 16.4。其规律为：在对于同一设计值，对应于年最大值法的重现期高于超定量法重现期，但随雨量重现期的增大，两种选样方法重现期的差距减少，当重现期高于 10 年时，两种选样方法重现期基本一致。

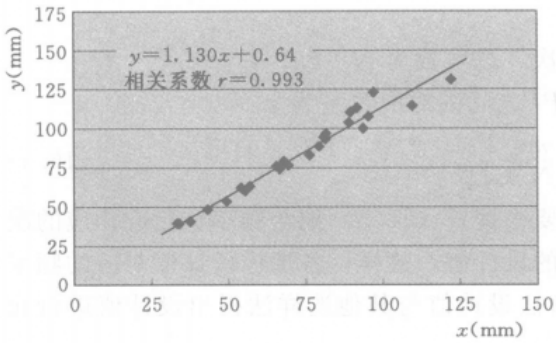


图 16.3 年最大值法设计值（x）与超定量法设计值（y）的相关关系（$T=2$ 年）

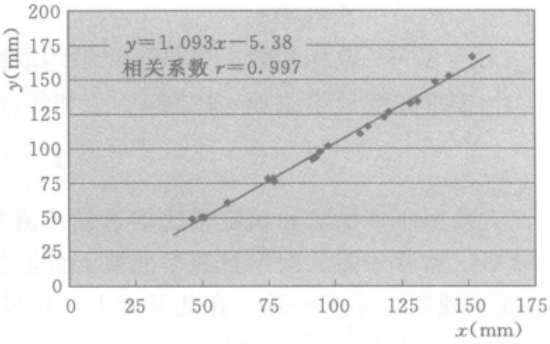


图 16.4 年最大值法设计值（x）与超定量法设计值（y）的相关关系（$T=5$ 年）

表 16.4　　年最大值法与超定量法重现期关系　　单位：a

超定量法	0.5	1	2	3	5
年最大值法	1.19	1.67	2.79	3.87	5.71

目前，我国城市管道排水系统设计标准多为 1 年暴雨重现期，根据江苏省城市雨量资料统计分析，超定量法的 1 年重现期的暴雨设计值，相当于同历时年最大值法的 1.7 年左右重现期的暴雨设计值 1.7 年左右，但这一结果并不能作为设计条件下两种选样方法下管道和河道设计重现期匹配的依据，主要原因是河道调蓄能力远大于管道，汇流时间和设计暴雨历时大于管道。

例如，如果管道设计时段为 1h，按设计标准得出 1h 设计雨量为 X_1，则按管道排水设计要求，只要 1～24h 内最大 1h 雨量不超过设计雨量 X_1，管道可以全部排入河道，统计满足上述条件的降雨场次，分析此 1～24h 内各时段最大雨量（1h、3h、6h、12h、24h 雨量 X_1、X_3、X_6、X_{12}、X_{24}等）的重现期，分析与 1h 雨量重现期之间的关系，作为河道排涝设计标准的重要参考依据。

以南京市为例，具体做法是：

（1）按超定量法划分全部 n 年实测资料次的 n_x 雨过程，同时统计 n 年各次降雨相应的 1h、3h、6h、12h、24h 雨量 X_1、X_3、X_6、X_{12}、X_{24}。

（2）按城市规划常用设计时段，取管道设计时段为 1h，计算超定量法的 1 年重现期 1h 设计雨量 X_{1p}，见表 16.5。

（3）选出全部 n 年实测资料中 1h 雨量小于 X_{1p}的 n_x 次雨过程，在 n_x 次雨过程中统计相应的 3h、6h、12h、24h 的最大雨量 X_{3m}、X_{6m}、X_{12m}、X_{24m}，查相应降雨历时的年最大值雨量频率曲线，得出相应于年最大值法的重现期，见表 16.5。

表 16.5　　南京站超定量法与年最大值法重现期对应重现期

超定量法重现期（a）	1 小时雨量 X_{1p}（mm）	设计降雨历时（h）	相应的年最大值法重现期（a）
1	29.6	3	6.8
		6	6.6
		12	9.9
		24	18.3

由于在超过设计标准暴雨时，管道会产生压力流，在地面不积水的前提下，管道向河道汇水能力大于设计条件下的相应能力。一般，管道在压力流条件下，可以排除的降雨量是设计雨量的1.2倍。按上述方法计算，得到各时段雨量与管道超定量法重现期（1年）相应的河道年最大值法排涝重现期，结果见表16.6。

表16.6　南京站超定量法与年最大值法重现期对应重现期（排水能力放大系数为1.2）

超定量法重现期（a）	1小时雨量 X_{1p}（mm）	设计降雨历时（h）	年最大值法重现期（a）
1	29.6	3	9.6
		6	7.5
		12	12.3
		24	18.3

与上例分析计算相同，对其他城市按超定量雨量系列进行统计分析其重现期与年最大值法重现期关系。由于资料系列为30年，抽样误差干扰很明显，为了消除抽样误差，使得两者重现期的关系更为稳定，对全部城市得出的年最大值重现期取平均值，结果见表16.7和表16.8。

表16.7　超定量法与最大值法重现期对应重现期多站均值

选样方法	降雨历时（h）	重现期（a）
超定量法	1	1
年最大值法	3	5.0
	6	8.7
	12	10.8
	24	14.1

表16.8　超定量法与最大值法重现期对应重现期多站均值（排水能力放大系数为1.2）

选样方法	降雨历时（h）	重现期（a）
超定量法	1	1
年最大值法	3	7.2
	6	12.3
	12	15.9
	24	18.1

根据表16.8结果，当管道设计暴雨重现期为1年时，河道相应的排涝设计暴雨重现期为7～18年。暴雨重现期随降雨历时增加其对应的年最大值重现期有增大的趋势，但增大的幅度随降雨历时而显著减少。由于各城市河道调蓄能力不同，敏感的设计降雨历时不同，应该根据河网调蓄能力采用不同的排涝重现期。建议当管道排水设计暴雨重现期为1年时，河道排涝设计暴雨重现期取10～20年为宜，河道调蓄能力较小者取下限，调蓄能力较大则取上限。

第17章　防洪对策与措施

17.1　防洪减灾体系

人们为了抵御洪涝灾害，必须建立防洪体系。我国现有防洪减灾体系主要由防洪工程体系和非工程防洪体系两部分组成。防洪体系中各类工程和非工程措施的防洪作用是相互关联和相互作用的，强调的是系统整体的防洪作用。

1. 防洪工程体系

防洪工程体系是由为数众多的水利工程所组成，在滨江地区防洪工程体系中的水利工程主要是河道、湖泊、堤防、泵站、水闸及水库等工程。这些水利工程一般具有防洪、蓄洪、挡潮、排水、引水、通航等综合作用。我国的洪水年际变化大，常规工程防洪体系能达到的防洪标准有一定限度，为了抵御超过常规防洪标准的特大洪水，在大江大河的防洪规划中，设立了蓄滞洪区或分洪道，以有效地分洪和尽快地退水，这种临时防洪设施，也是我国主要江河防洪工程体系中的重要组成部分。

排涝工程体系是防洪工程体系重要组成部分，主要是为了抵御当地暴雨造成的灾害，它是滨江区域涝灾防治的主体措施。在滨江平原地区，排涝工程体系分为城市排水工程体系和农业除涝工程体系两类。城市排水工程体系包括地面排水系统、管道排水系统及河道排水系统三部分，应保证在设计条件下尽快排除城市涝水，以保持地面不积水。农村除涝工程体系包括田间排水系统和主干排水系统，要求在设计条件下、在规定时间内（一般为植物耐淹时间）将区内涝水排出。

2. 非工程防洪体系

非工程防洪体系包括：

（1）水情测报、预报、警报系统，为灾害防治和防汛决策提供可靠的水情依据。

（2）防汛指挥调度系统，根据水情、灾情、工情的动态变化制定防汛调度方案和防洪减灾对策。

（3）防洪管理系统，承担各种防洪工程设施的养护、维修，对河湖水域行洪蓄洪及河湖洲滩进行管理，制定各种减少洪涝风险的措施。

（4）法规政策体系，制定和完善防洪法规和政策，建立执法、检查和宣传的组织措施，使各种防洪减灾的行为有法可依。

（5）洪涝灾情评价体系，建立一套分析评价洪涝灾情的科学方法和指标体系，减少防洪减灾的盲目性和被动局面。

（6）洪水灾害的保障体系，负责组织抢险救灾、临时撤退、生活安置、卫生防疫、灾后恢复、物资供应以及筹措救济基金、推行防洪保险等。

在防洪减灾体系的规划建设中，必须认真进行基础资料调研，系统地分析洪涝灾害特

点和成因，了解防洪减灾工作存在的问题，根据当地经济社会可持续发展的要求，制定区域防洪减灾的总体目标及其布局。在防洪工程建设的同时，特别强调非工程措施建设，统筹兼顾防洪减灾与水资源综合利用、生态环境保护的需求。这样，建立的防洪减灾体系才能满足水资源可持续利用和地区的防洪安全保障要求。

17.2 防洪工程措施

17.2.1 排洪沟

排洪沟是应用较为广泛的防洪工程，其沟渠大都修成明沟，便于将地面水或天然沟槽的集水汇引入沟，排入附近的河流或较大沟道中。

(1) 排洪沟布置，应充分考虑周围的地形、地貌及地质状况；为了减少工程量，可利用天然沟道，但应避免穿越城区，以保证周围建筑群的安全。

(2) 排洪沟的进出口，宜设在地形、地质及水文条件良好的地段。出口处可设置渐变段，以便与下游沟道平顺衔接，并应采取适当的加固措施；排洪沟出口与河道的交角宜大于 90°，沟底标高应在河道正常水位以上。

(3) 排洪沟的纵坡应根据天然沟道的纵坡、地形条件，护砌类型等因素确定。当地面坡度很大时，应设置跌水或陡坡，以调整纵坡。

(4) 排洪沟的宽度改变时应设渐变段，平面上尽量减少弯道，使水流通畅。弯道半径根据计算确定，一般不得小于 5～10 倍的设计水面宽。

(5) 在一般情况下，排洪沟应作成明沟，如需作成暗沟时，其纵坡可适当加大，防止淤积，且断面不宜太小，以便维护。

(6) 排洪沟的安全超高宜采用 0.5m 左右，弯道凹岸还需考虑水流离心力作用产生的超高。

(7) 在排洪沟内不得设置影响水流的障碍物，当排洪沟需要穿越道路时，宜采用桥涵。桥涵的过水断面不应小于排洪沟的过水断面，且高度和宽度也应适宜，以免产生壅水现象。

(8) 排洪沟的纵坡应以沟内不发生冲刷和淤积为原则，其流速应小于最大容许不冲流速，大于最小容许不淤流速，合理的纵坡应根据不同土壤和砌护条件下通过计算确定。

截洪沟是排洪沟的一种特殊形式。位居山麓或土塬坡底的保护区，可在山坡上选择地形平缓、地质条件较好的地带或在坡脚下修建截洪沟，拦截下泄洪水并在沟内积蓄或送入附近排洪沟中，以利保护区的安全。

17.2.2 防洪堤

堤防是应用最广泛的防洪工程措施之一，对于防御历时长、洪量大的洪水最为有效。堤线选择实际上就是确定河道的治导线，应根据城市总体规划要求统一进行，按被保护区的范围确定总的走向，在定线时应和整个河流的治理规划协调起来。堤线的布置的要求：

(1) 堤轴线应与洪水主流向大致平行，并与中水位的水力线保持一定距离。

(2) 堤的起点应设于水流较平顺的地段，以免产生严重冲刷，堤端需嵌入原岸 3～5m。

(3) 设于河滩的防洪堤，为了使水流通畅地进入河道，防洪堤首段应布置成向上的

“八”字形，以免水流从堤外漫流并发生淘刷。

（4）堤的转弯半径应尽可能大些，力求避免急弯和折线，一般为5～8倍的设计水面宽。

（5）堤线宜选择在较高的地带上，不仅基础坚实，增强堤身的稳定程度，并可节约土方。

在一些城市，房屋或其他建筑物紧靠河边，布置堤防受到限制，可采用防洪墙的形式。防洪墙有重力式和悬壁式两种，筑墙材料一般用浆砌块石，混凝土或钢筋混凝土，墙身在设计洪水位以下应作防水层，并用防水砂浆抹面。防洪墙与普通挡土墙不同的地方，是在墙前设置较深的齿墙，墙背基脚处有排水设施。

17.2.3 护岸

为了抵御水流对河岸或堤防的冲刷，抑制崩岸，使城市整洁美观，需要修建护岸工程。对于平原河道，护岸工程可以稳定河势，控制河道的横向摆动。在山洪防治中、沟道的护岸工程可抑制水流横向侵蚀和沟岸崩塌，起到稳定坡脚的作用。

护岸工程的种类按材料可分为：天然材料护岸，包括草皮、芦苇、树木、灌木等；铺砌护岸，包括干砌片石、砌片石、混凝土板、石棉水泥板、土工织物、木桩、石笼等；临时性护岸，包括抛石、柴排、石笼沉排、土工布等。选择何种护岸材料，需要根据河道水流特性、景观需求、断面形态、河道功能及经济条件等要求因地制宜地确定。例如，景观型河道绝大部分采用天然材料护岸；而一些具有防御血吸虫任务的沿江河道往往需采用混凝土类人工材料护岸。

护岸工程可改变原河床的边界条件，对水流产生反作用。根据对水流的反作用，又可分为平顺护岸和导流堤护岸。平顺护岸是把防护材料直接铺设在岸坡上，也可修筑成挡土墙型式，以保证河岸免受洪水淘刷而崩塌。这类护岸对水流的反作用不太明显。导流堤护岸的作用是根据治河要求，改变和控制水流的方向，使主流远离岸脚，对水流的反作用力较大。选择护岸形式要因河制宜。从对近岸水流流势和河床演变的影响和对工程的稳定性来看，平顺护岸较为有利。城市中如两岸的工厂、码头较多及江河宽度不大的河段，宜采用平顺护岸；在水浅流缓、河面较宽的河段及崩岸较为严重的河流弯道处，采用丁坝导流，保滩效果较好。

17.2.4 抽水泵站

如果地面较低，在汛期排水发生困难，易发生涝情；或者地面低于河道正常水位，筑堤后往往会影响地面雨水的排泄，可设抽水泵站抽排入河。排水泵站应设于堤防内侧，泵站的数量由需要抽排的水量大小决定。设泵站排水往往需要大量的资金、设备及管理费用，但在平原河网地区，设置抽水泵站是很必要的。

17.2.5 蓄洪工程

水库、湖泊、水塘工程均属于蓄洪工程。

修建大型水库涉及到国家计划，一般需在流域规划中实施。区域规划中可以研究修建小型水库和开挖湖泊，要注意保留山丘区众多水塘，保持足够的水面率和调蓄库容，以起到拦蓄洪水的作用。修建水库、湖泊等蓄洪工程占地面积较大，应协调考虑防洪、水环境保护、灌溉、发电、水产养殖、景观、旅游等功能，以增加工程的综合效益。在城市、居

民集聚地或重要保护对象上游修建水库，必须充分考虑水库溃坝的影响，不得对下游安全构成重大威胁。

17.2.6 分滞洪工程

分洪是把河道不能容纳的洪水，分流入其他河流、湖泊或预定的分洪区，以减轻洪水对保护区的威胁。如果河流附近具备封闭性的湖泊、洼地，可开挖引洪道，设立进洪闸，平时关闭闸门，汛期洪峰到达时开闸分洪。若河流与湖泊、洼地有沟道相连，可在其出口处设控制闸，汛前开闸泄洪、降低水位，以利洪峰到来时容蓄洪水。有的城市地处河道下游的入海口，上游汇水面积大，而入海河道小，洪水容易溢流出槽，威胁城市的安全，可以开辟入海河道，将上游洪水绕离城市，分流至下游入海。

滞洪是把河道不能容纳的洪水，暂时引入其他河流、湖泊或预定的滞洪区拦蓄起来，洪水待洪峰过后，再由原沟渠归入河道。滞洪属短期拦滞，对洪峰的削减程度比分洪小，如能修建控制性的建筑物，可提高调节洪水的能力。

荆江分蓄洪区是我国最大的蓄洪区，由荆江分洪区、涴市扩大区、虎西备蓄区和人民大垸组成，总蓄洪面积 1358km^2，容积 71.6 亿 m^3。荆江分洪工程于 1954 年首次运用，先后 3 次开闸分洪，最大进洪流量 7760m^3/s，最大降低沙市水位 0.96m，分洪总量 122.6 亿 m^3，从而保证了荆江大堤的安全，推迟了洪峰到达武汉的时间，给武汉市临时加高堤防赢得了时间。对确保江汉平原和武汉市的安全发挥了重要作用。

17.2.7 低水头建筑物

水闸是调节水位、控制流量的低水头水工建筑物，主要依靠闸门控制水流，是滨江地区最常见的防洪和引排的水工建筑物。例如，最常见的水闸是节制闸，它可以在江河湖库沿岸、河流入海河口兴建，也可以拦河兴建，目的包括控制河道、湖泊、水库的水位、流量，阻挡洪流或海潮倒灌，自江河引水补充内河水资源等。闸的出流形式有淹没出流和自由出流两种方式，平原河网地区内河控制性水闸以淹没出流为主。

平原区常采用以水闸为主的水利枢纽工程，一般由水闸、泵站、船闸等水工建筑物组成，有的还包括涵洞、渡槽等其他引排水建筑物。水利枢纽工程的规划设计等级规模应根据水闸最大过闸流量及其防护对象的重要性确定，具体可参看 SL 265—2001《水闸设计规范》。

低水头水工建筑物一般指水头不超过 30m 的水工建筑物，除水闸和船闸外，还有低坝、橡胶坝等。橡胶坝具有与节制闸类似的功能，可以用于控制内河水位。由于橡胶坝具有隐蔽性，尤其适宜于城市景观河道。低坝常用于坡度较大的河道，主要是为了保持或提高低坝上游河道水位，满足上游河道景观及正常用水需求，但水位高于坝顶高程时洪水自由下泄。低坝普遍应用于丘陵地区的城乡河道。

17.2.8 落差建筑物

当渠道要通过坡度过陡的地段时，为了保持渠道的设计纵坡，避免大填方和深挖方，可将水流的落差集中，并修建建筑物来连接上下游渠道，这种建筑物称为落差建筑物，主要有跌水和陡坡两类。凡是水流自跌水口流出后，呈自由抛投状态，最后落入下游消力池内的称为跌水；而水流自跌水口流出后，受陡槽的约束而沿槽身下泄的叫陡坡。

跌水主要用于大坡度地段，其作用是在较短的距离内集中跌差、减少流速、消减水

能。因此，当排洪沟通过地段的地面坡度较大，或者截洪沟与排洪沟相接但高差较大时，需要修建跌水或陡坡。跌水布置应保证建筑物本身及上下游水道具有良好的水力条件，使上下游渠道不发生严重的冲刷和淤积。

陡坡的作用与跌水类似，除用于地形较陡，高差较大的排洪沟段外，还可用在流速较大的出水口上。在排洪沟与桥涵相连接处，如需要修建陡坡，在陡坡末端出水口处，应注意消能，以防冲刷桥涵。

在防洪规划中，无论采用跌水还是陡坡，应根据当地的地形及技术经济条件综合考虑。如排洪沟渠经过高差较小的陡坎时，宜选用直落式跌水；若高差较大，且地面坡度比较均匀，宜选用陡坡。

17.2.9 交叉建筑物

当排洪沟跨越沟谷或深度、宽度及流量不大的小溪或其他水路时，在填方沟道下应设置涵洞。当排洪沟与铁路、公路相交，且排洪沟沟底高程较低，可在路下设置涵洞。横跨排洪河沟的路涵，不得影响河道设计排洪流量，否则应建造桥梁。

渡槽为输送渠道水流跨越河渠、溪谷、洼地和道路的架空水槽，两端与渠道相接，主要用砌石、混凝土及钢筋混凝土等材料建成，主要用于输送渠道水流、排洪和导流，是应用最广的交叉建筑物之一。

倒虹吸管是在渠道同道路、河渠或谷地相交时，修建的压力输水建筑物。它与渡槽相比，具有造价低且施工方便的优点，不过它的水头损失较大，而且运行管理不如渡槽方便。在渠道水位与所跨的河流或路面高程接近时，也常用倒虹吸管。在滨江地区，常需要调引江河优质水量，当调水河流横跨水质污染比较严重河道时，常采用倒虹吸或渡槽等交叉建筑物。

17.2.10 圩垸

滨江、滨湖低地四周有圩堤围护低洼区，在长江下游叫做“圩”，中游叫做“垸”，统称“圩垸”。若干个圩垸连成一片，叫做圩区或圩垸地区，主要分布在长江中下游滨江及洞庭湖、鄱阳湖、太湖流域和珠江三角洲等滨江、滨湖低地。圩垸通过堤将圩垸内的低洼区域与外水隔开，通过圩垸内的河渠、节制闸、灌排涝泵站调节内水和外水的进出，具备防洪、排涝、灌溉等综合作用。

17.3 排涝工程措施

17.3.1 农业除涝系统

农田排水系统是除涝的主要工程措施，其作用是根据各类农作物的耐淹能力，及时排除农田中过多的地面水和地下水，减少淹水时间和淹水深度，控制土壤含水量，为农作物的正常生长创造一个良好的环境。按排水系统的功能可分为田间排水系统和主干排水系统。田间排水系统承接农田中多余的水及来自坡地的径流，输送至主干排水系统。主干排水系统将涝水迅速地输送至出口，或排出受保护的农业区。

地面坡度不超过2%的地区可以认作为平地，其排水能力相对较弱，在暴雨发生时易受涝成灾。平地的田间排水系统可以采用明沟排水系统或暗管排水系统两种类型。采用明渠排水的优点是可以同时考虑排除地表径流和地下径流，对渠道坡度要求不高，检查方

便。缺点是占用土地，渠道容易淤积和生长杂草影响排水，不利于机械化耕作。如果采用暗管排水系统，可以避免这些缺陷，而且管道间距不受机耕的限制。通过控制管道的埋深可以增加水力坡度，并有效地控制地下水位，但暗管工程费用高，养护困难。从发展趋势看，暗管排水系统前途看好。

当地面坡度超过2%可作为坡地处理。由于坡地降雨径流流速较大，易于造成坡面土壤的侵蚀流失及下游农田的洪涝灾害。为了控制冲刷，梯田可以采用等高明渠系统或标准防冲系统。等高明渠系统适用于坡度小于4%的土地，梯田沿坡度方向呈倾斜状，每隔一定距离布设一条排水沟，排水沟大致沿平行于土地的等高线走，以截住高地的排水流量，输送至主干排水系统。标准防冲系统适用于坡度大于4%的土地，基本特性与等高明渠系统类似，仅是排水明渠位于高程较低一侧的堤岸需适当加高以截留更大流速和流量的水流。为了防止坡地的径流对下游平地的洪涝灾害，在坡地的下部区域修建引水渠道或截洪沟，把水引入主干排水系统。

主干排水系统的主要功能是收集来自田间排水系统的出流，迅速排至出口。它有两种类型：一种系统的目的是收集和拦截农业区周边坡地的径流，以保护农业区免受淹没；另一种系统是收集平地多余的水量并排出农业区。一些地区修建的主干排水系统还具有灌溉引水、排除污水、航运等综合用途。组成主干排水系统的单元有渠道、堤防、泵站、水闸、入口、涵洞、跌水或陡坡等。排水渠道是主干排水系统的最基本的单元，其设计应根据田间排水系统设计标准和排泄流量，以及流域的地形条件进行。在受保护农业区，若区外水体的水位较高，则主干排水系统在出口处需设立泵站和水闸。在外河水位较低时开闸，渠道中的涝水按重力流方式自排；当外河水位高于内河时关闸，防止洪水漫溢至保护区，同时可开动泵站排除区内涝水。

17.3.2 农业排涝措施

1. 洪涝分治

治洪是排涝的前提，在洪涝并存的地方，必须按照“洪涝分治，防治结合，因地制宜，综合治理”的原则，采取蓄泄兼筹，整治骨干排洪河道，扩大洪水出路，在保障大片地区的防洪安全基础上，为农田涝水解决出路问题，因地制宜地规划行洪河道和排涝河道，排除洪水干扰。

2. 分片排涝

平原地区的地形特点，总的来说较为平坦，但因其范围广阔，地势仍然还有高差。如果不采取高、低地分开，势必造成高地排水要压向低地，使低地受淹，从而加重低地的排涝负担，低地涝水更难以及时外排。同样，低洼水网圩垸地区虽然地形也较为平坦，但圩垸内地形也存在高差，每逢暴雨，高水低流，加重低地的涝情，引起高、低地之间的排水矛盾。因此，在排涝规划中，除建立河网系统外，还应考虑在高低地分界处划分梯级、建闸控制、等高截流、高低分开、分片分组排涝，使各片自成水系，灵活调度，达到高水高蓄高排，低水低蓄低排，高地自排，坡地抢排，洼地抽排，排涝滞涝结合。

3. 排蓄结合、自排为主

平原、圩垸地区当外河水位高于保护区地面高程时，往往不能自流外排，此时应充分利用原有湖泊、沟塘、洼地滞涝，以减小抽排流量，降低圩垸排涝模数。单靠自流外排与

内湖滞涝仍不能免除涝灾威胁的地区，需要辅以抽排。但是，为了尽量减少装机容量和抽水费用，在规划和管理时，必须坚持以自排为主的指导思想，并采取一切措施尽量利用和创造自流排水的条件。有条件时可适当抬高内河、内湖滞涝水位，以争取更多的自流外排条件。

17.3.3 城市内涝治理工程

由于城市化过程中土地利用性质和排水系统的显著变化，造成同等降雨条件下，径流汇流速度加快，洪量更为集中，洪峰流量加大。国内对北京市、上海市、天津市等城市试验区的水文观测和研究表明，城市地区的洪峰流量模数比天然流域增大几倍至十几倍之多。在我国的经济快速发展过程中，一些城市缺乏长远规划和有效的管理，造成绿地减少、水面率降低、水系破坏、水土流失、河道淤积等问题，大大降低了城市抵御内涝灾害的能力。

从城镇地区排水工程规划建设的角度，除建立和完善城市管渠排水系统外，还需通过一些辅助性工程措施加强城市内涝治理效果。根据国内外研究，重点是通过增加雨水下渗、滞蓄和利用，达到削减地表径流总量、降低洪峰模数的作用。

1. 增加雨水下渗能力

为了减少城市化地区地表径流量，削减地表洪峰流量，应注意增加地表渗透能力。最基本的方法是尽可能扩大城市绿地面积，在一些局部不透水区域，如广场、体育场的周边设立等高绿地，截留部分排泄雨水。

通过铺砌透水沥青公路、透水混凝土广场、砖或砾石人行道和巷道，可以显著增加雨水下渗能力。透水铺装的材料可以是透水沥青混凝土，嵌草砖或无砂混凝土透水砖等。不同渗透铺装材料削减径流量的幅度不同，一般可达 30%～60%。沥青混凝土透水路面孔隙率可达 60%。美国纽约州罗彻斯特市的一个停车场采用了透水性路面后，高峰径流速度减缓 83%。加大渗透铺砌面积可以使地面径流雨水分散、就地排放；又可以补充地下水，促进植物生长。采用透水性排水管道、渗透池、渗透井，增加入渗量。

日本从 20 世纪 80 年代初开始雨水渗透技术的研究，已从实验研究阶段进入推广实施阶段，纳入国家下水道推进计划并制定了雨水渗透设施的标准。截至 1996 年初，仅东京都就采用渗透检查井 33450 个，透水性排水管道 286km，透水地面 49.5hm^2。经过有关部门对东京附近面积为 22hm^2 的 20 个主要降雨区长达 5 年的观测和调查，在平均降雨量 69.3mm 的地区，其平均流出量由原来的 37.6mm 降低到 5.5mm。

美国强调提高天然入渗能力，在美国加利福尼亚州富雷斯诺市的地下回灌系统，10 年间（1971～1980 年）的地下水回灌总量为 1.338 亿 m^3，年回灌量占该市年用水量的 20%；芝加哥市兴建了地下隧道蓄水系统，以解决城市防洪和雨水利用问题。其他很多城市建立了屋顶蓄水系统和由入渗池、井、草地、透水地面组成的雨水入渗系统。

2. 增加城市雨水滞蓄能力

在雨洪流量较大时贮存部分雨水径流，而流量下降时排出，以达到削峰作用，这类调蓄库容可以是大型地下管道、管网系统内的人工调节池，与管网相连的一些蓄水池、凹槽、岩洞、地下隧道等设施，或结合公园观赏的池塘湖泊，也可以是其他各类有调蓄性能的下垫面或构筑物。

例如，为了减小城市暴雨径流的峰、量，可以充分利用城市的一些洼地、池塘、广场、操场、公园、校园、体育场、球场、停车场等暂时滞留雨水，待最大流量下降后，再从调节设施中慢慢排出，这样可大大降低最大流量。有人提出，可以调整我国城市常用的绿地的竖向设计，将传统的高绿地、低道路的设计改为下凹式绿地，将周围不透水铺装地面上的径流雨水汇集进来，充分利用了绿地的下渗能力和蓄水能力。据分析，当下凹深度为50～150mm，下凹式绿地占全部集水面积比例为20%时，可以使外排径流雨水量减少30%～90%。在北京市的典型土质条件下，最长蓄水时间小于24h，不超过绿地一般植物耐淹时间，不影响绿地植物的生长。

蓄水方案可采用屋顶蓄水池、屋顶花园和屋顶草坪的方式；滞水方案是增大屋顶铺面糙率，如波状屋顶、砾石屋顶等，也可束狭落水管使雨水暂时滞蓄屋顶。加大屋顶绿化可以起到多方面的综合作用。首先，绿化屋顶可作为城市的天然节能空调；在夏季，绿化地带和绿化屋顶可以通过土壤水分和生长的植物降低大约80%的自然辐射；在冬季，长有植物的屋顶可以显著减缓热传导以利节能，严寒时也对缓冲极端温度起作用。其次，绿化屋顶提供了储存降水的可能性，可以减轻城市排水系统的压力。如普通瓦屋顶和沥青屋面的径流系数是0.9，采用绿化屋顶后，可以使径流系数减少到0.3。

3. 城市雨水利用

收集雨水加以利用，可以有效地降低地表径流系数，又可以增加城市水资源。主要方法是在城市建筑物上设计雨水收集设施，或通过地面的下渗设施来实现。收集到的雨水经简单的处理后，达到杂用水水质标准，便可用于消防、植树、洗车、冲厕所和冷却水补给等，也可以经深度处理后供居民使用。

雨水利用在国外已得到充分发展。日本1963年开始兴建雨水滞蓄池，并将滞蓄池的雨水用作喷洒路面、灌溉绿地等城市杂用水。这些设施大多建在地下，以充分利用地下空间，而建在地上的也尽可能满足多种用途。日本东京江东区文化中心修建的收集雨水设施集雨面积5600m^2，雨水池容积为400m^3，每年利用的雨水占其年用水量的45%。东京的一座相扑馆，每天雨水利用量可达300m^3，其中一半用于冲厕所，这些水的大部分是利用屋顶收集到的。

丹麦从屋顶收集雨水，经过收集管底部的预过滤设备，进入贮水池进行储存。使用时利用泵经进水口的浮筒式过滤器过滤后，用于冲洗厕所和洗衣服。在每年7个月的降雨期，从屋顶收集的雨水可以满足冲厕用水。

德国利用公共雨水管收集雨水，处理后达到杂用水水质标准，用于街区公寓的厕所冲洗和庭院浇洒。例如，位于柏林的HlankWitzBeless－luedeckeStrasse公寓始建于20世纪50年代，通过采用新的卫生原则，并有效地同雨水收集相结合，利用雨水每年可节省2430m^3饮用水。

在英国伦敦，泰晤士河水公司为了研究不同规模的水循环方案，设计了英国2000年的展示建筑——世纪圆顶示范工程。在该建筑物内每天回收500m^3水用以冲洗该建筑物内的厕所，其中100m^3为从屋顶收集的雨水。这使其成为欧洲最大的建筑物内的水循环设施。

在我国，城市雨水利用还处于刚刚起步的阶段。由北京市水务局组织实施，于2000

年启动的“北京城区雨洪控制与利用示范工程”，是我国开展得比较早的城市雨水利用项目之一，被列入“首都248重大创新工程”。该项目在北京选择了5个示范区，总面积59hm^2。主要措施是把部分道路改建成透水道路，部分建筑物屋顶雨水直接排入下凹式绿地，渗入地下，其余建筑物、道路的雨水经收集、处理后进入蓄水池储蓄，用于灌溉和洗车等。此外，在“规划建设小区”、“老城区”、“公共建设用地”、“机关和学校”中选择有代表性的区域，采取不同的雨水利用模式，包括雨水收集处理后用于小区景观用水，多余雨水回灌地下水；收集建筑物屋顶雨水，通过蓄水池储蓄，用于家庭冲厕；对大面积绿地内采用渗井、渗沟等设施增加入渗等。北京市水利科学研究所的统计显示，在7月10日的暴雨中，5个示范区共收集雨水3300m^3，其中经过处理后回灌地下水2300m^3，蓄水池拦蓄雨水1000m^3。在这些示范区，3年来收集起来经处理后用于洗车、灌溉、冲厕、喷泉景观等的雨水将近1万m^3。

诸如地下贮留池、湖泊、蓄水池、雨水调节池、大型地下管道、屋顶花园、广场、公园、校园；体育场、球场、停车场等设施应该在城市总体规划和区域防洪规划阶段就应该充分加以论证分析。在实施中对城市排水管理的观念和水平要求比较高，可以考虑逐步分区实施。

17.4 非工程防洪措施

17.4.1 生态工程的防洪作用

传统水利的河道治理理论是基于最佳水力半径的概念，用最经济断面输送最大流量，一般是裁弯取直，上、下游断面趋于统一标准化，沿河湿地和滩地大量消失，也导致水陆生态连续性的破坏。虽然使得洪水更快下泄，但却对下游河道产生较大的洪水压力，并在遭遇大洪水时缺少了滩地和河槽的调蓄能力。随着经济发展，人类对土地的需求剧增，造成湖泊、沟塘、湿地、滩地被大量围垦，尤其是城市化比较显著的地区，水面率大大降低，河湖的洪水调蓄容量迅速减少，加之地面硬化造成地表径流系数增大，使得滨江平原地区的特大洪涝损失日趋突出。

现代水利河道治理的原则，除满足正常的洪水宣泄要求外，还要尽量保持河道的自然特点及水流的多样性，提倡河流向自然回归。应该尽量保持河流原貌，采用生态型护坡，重视对生物及沿河湿地及水—陆连续性的保护，尽量保持沿河滩地和湿地，保障对大洪水的调蓄能力。

滨江地区洪涝灾害绝大部分都与流域自然特性受人类活动影响有关，只有保护和恢复好山区和湖区自然的流域环境，保护区域涵水保土能力，降低暴雨径流的汇流速度，减小洪峰流量，使得区域防洪建设蕴于流域整体布局之中，才能够更好地保证区域的安全，使得城市远离洪水风险区。

加强绿地面积以增加地面透水性，保持足够的水面率和河湖调蓄库容，是降低城市洪涝灾害程度行之有效的生态工程之一。在防洪规划中必须加强对区域水面率、绿化率控制性标准的研究，作为地区开发强制性指标。目前，在城市、圩垸地区及开发区建设中蚕食水面率的现象比较严重，尤其需加以规范和制约。例如，在江苏省苏南县、市的水资源综合规划中，规划后的总体水面率不得低于现状水面率，开发区和圩垸地区水面率不得低于

8%，可以基本满足水生态及洪水调蓄的功能。

17.4.2 水情预报

山丘区人类活动影响小，暴雨与洪峰之间具有一定的滞时，可以依据降雨进行洪水预报和防洪调度。但平原区域或城市暴雨涝水预报较为困难，主要是暴雨一旦发生，河道水位立即上涨，街区迅速产生积水现象，缺乏预报所需的预见期进行抢险减灾。城市地区更强调对暴雨的预报和预测，以争取抢险时间。目前气象雷达可以提前数小时定量预报暴雨的发生，形成适用的气象产品，为区域防汛预报、工程调度和抢险救灾提供基础。区域防汛另一方法是根据现状雨情、水情、工情，预测或估计未来可能发生的各种雨情，模拟可能发生的灾情后果，提前作好防汛准备，虽然不能阻止洪涝的发生，但可以降低洪涝灾害损失。

17.4.3 防汛决策支持系统

防汛决策支持系统是进行区域日常防洪管理及超标准洪水应急的重要平台。防汛决策支持系统的核心是进行减灾决策，所建立的防汛决策支持系统应能在一定的硬件环境支撑下，快速灵活地以多种方式提供水情、雨情、工情实况，进行暴雨、洪水预报，提供各种情况下的防汛调度方案集，分析决策预案实施后的风险情况，评估受灾区的灾情，为防汛决策过程中的各主要工作环节提供多层次的信息服务和多种支持手段。

根据滨江区域防汛工作的需求，在对国内外有关决策支持系统进行了大量调研工作的基础上，可以将防汛决策支持系统划分为5个子系统和3个库，包括汛期监测子系统、预测预报子系统、汛情分析子系统、灾情仿真子系统、灾情评估子系统和数据库、知识库、模型库。总体逻辑结构是以数据库和知识库作为基本信息支撑，通过总控程序构筑决策支持系统的运行环境，辅以友好的人机界面和人机对话过程，有效地实现汛情监测、预测预报、防汛防旱形势分析、灾情仿真和灾情评估等功能。

(1) 汛期监测子系统提供具有报警功能的实时雨情、水情、工情、现场图像等汛情监视画面。汛情监测系统提供对河道测站、水库测站、闸坝测站以及雨量测站的实时监视，能够自动标示出测站超警、超保、超汛限等状态，还提供险工险段图像、主要控制站等专项监视。在提供水情、工情实时监视的基础上，充分发挥地理信息系统的优势，提供基于地理信息的方便、快捷的辅助查询功能。

(2) 预测预报子系统根据水情综合测报系统，气象、交通、海洋部门监测系统以及其他外部系统传送的实时汛情资料，气象部门的降雨、台风、暴潮、风浪预报结果，历史灾情信息和其他有关信息，通过软件的分析、处理、判断，并借助于数学模型预报或预测未来可能发生的雨情、水情、风情、潮情、旱情，供决策人员会商时参考。

(3) 防汛形势分析子系统根据通过将实时的水情、雨情、风情、潮情信息，各种致灾因素的预测预报结果，防洪排涝工程的调度规则等多种信息有机地组织起来，形成描述防汛形势的特征资料，使得决策人员可以认清当前所面临的形势以及未来发展趋势，通过查询和分析认识到在哪些控制节点上会出现问题，需要启用何种工程或非工程措施来加以解决。在此基础上生成各种可能的决策预案，以便为下一步的灾情仿真及预案评价做好准备，作为防汛决策的基础。

(4) 灾情仿真子系统可以使决策人员在面临重大决策时，借助于计算机处理速度快的

特点，通过建立各种灾情仿真模型和运行模型的交互式对话平台，对各种调度决策预案进行快速仿真计算和结果评价，从众多的预案中选出合理可行的方案付诸实施。由于对防汛决策而言，风险是一个无法避免的难题，决策的风险来源于存在有诸多风险因素的影响，使决策实施的结果带有不确定性。为此，灾情仿真子系统应能进行决策方案的风险分析，使决策者能够根据风险的大小，对决策方案进行比较和选择，把决策失误减小到最低程度。

（5）灾情评估子系统可以为各种调度方案预测灾情，提供人员迁移及安置咨询意见；灾情发生后进行损失评估，进行实际灾情的统计。灾情评估子系统包括洪涝灾情评估子系统和洪涝灾情统计子系统。

（6）数据库、知识库、模型库是决策支持系统的重要组成部分。数据库和知识库为决策指挥提供基本的信息支撑，模型库提供各种预测、预报、调度和仿真模型，帮助决策者对防汛调度预案进行分析和评价。在模型库中可以收入大量数学模型，关键在于分析各自的适用条件和精度要求，以及模型应用的前期资料准备和后期成果分析工作。根据滨江区域的特点，提出了一些适用的数学模型，如城建区排水模型、农业区排涝模型、流域洪水预报模型、风暴潮预报模型、短期降水预报模型、河网洪水演进模型、水利工程调度模型、灾情评估模型等。

17.4.4 洪水保险

我国是洪水灾害频繁的国家，防洪经费主要由国家财政承担，洪水灾害补偿也由国家财政储备支付，这使得国家财政负担沉重，也妨碍人们防洪意识的建立，导致不合理的规划和发展，从而制约了地方经济的可持续发展。近年来，基于对于洪水保险意义的认识，吸收国外洪水保险经验，并结合我国国情，各地开展了洪水保险，筹措防洪经费的工作。

洪水保险业开展对提高政府及人民防洪意识和洪涝风险认识也是一个推动，对当地经济开发和城市规划起着引导作用。人们将认识到什么是洪涝高风险区；厂矿企业建设如何避开这些高风险区以避免将来可能产生的损失；政府如何加强这些地区防洪，限制某些区域易受洪灾损失企业的发展。

洪水保险除了自愿保险以外，不少国家和地区开展了强制性洪水保险。这主要是由于政府对洪灾地区受灾人员提供大量的灾害援助和人们对洪灾损失认识不足所致。为了减少国家对灾害损失补偿的重大负担，以及将国家救灾物资用于最需要的地区，更好地达到救灾和灾后恢复目的，实行强制性保险是征收防洪救灾资金，提高全民防洪意识的途径之一。

为了促进洪水保险这一公益事业发展，还应该广泛宣传，使人们对遭受洪涝损失的风险有清楚的认识，应大力推广和广泛宣传洪水风险图，强调维护和保护各类防洪工程设施，严格贯彻执行各类水利法规和条例，采取各种非工程措施，降低洪涝风险和损失，减少投保金额，增加投保企业和户数，以达到全民防灾能力的提高。

对于保险公司，为了保证业务的正常开展，必须可靠地掌握投保单位洪涝灾害发生的风险。目前，一些省份水利和保险部门联合制定了洪涝风险图，对保险业计算投保和赔偿资金提供了可靠依据。保险公司为了减少投保单位洪涝灾害损失，即减少灾害赔款，会加强对投保单位防汛检查，敦促投保单位采取各类防洪工程或非工程措施，加强洪涝灾情预

报，在洪水到来之前及时发布警报和转移财产和人员，并与投保单位签订防灾责任书，实行奖罚制度，促进了地区防洪工作的开展。因此，洪水保险也是开展防洪工作的经济杠杆。

洪水保险作为特殊险种，涉及面广、影响因素多、难度大，各国家情况不同，保险模式也不一样。但总的来说，洪水保险具有由自愿保险向强制保险转变、由通用型向特殊型转变、由补偿型向集资和基金型转变的趋势。并且由于洪水发生在时空上的不确定性和洪灾损失的严重性，洪水保险的风险很大，中小型保险公司往往还要进行再保险。

我国开展洪水保险十几年来，中国人民保险公司进行了许多试点，大致分为4种模式。

（1）通用型洪水保险。即现在保险公司实行的各种企业、家庭财产、货物运输以及农村生产等保险中包括的洪水保险业务。其内容和特征是：①将洪水灾害与其他自然灾害一样对待；②自愿保险；③只承担纯自然灾害情况下的理赔，不予以考虑分滞洪区的运用带来的灾害；④理赔经费全部依靠投保费。这种型式的保险投保人和保险人在这种模式中的负担过重，影响洪水保险事业的发展，因而不宜采用。

（2）定向型洪水保险。主要内容和特征是：①特定范围的保户，主要针对长期居住在洪泛区的群众；②保户和国家分摊保险费，即群众分摊30%，余下的由国家和省财政分摊，并向保险人一次付清。

（3）集资型洪水保险。建立在定向型洪水保险的基础上，主要内容和特征是：①投保户增加了洪泛区保护范围内收益方；②建立有效的洪水保险基金会组织，把损失、收益两个方面联系起来，作为洪水保险的统一体；③保险人可以是受委托的中国人民保险公司，也可以是基金会自行承保。这是由各级政府负责征收和管理的防洪基金的办法。

（4）强制性国家洪水保险。主要内容和特征是：①将洪水保险作为独立险种，由国家颁布洪水保险法，实行全国性洪水保险；②确定统一的洪水保险率标准，明确洪泛区，由国家统一推行；③建立洪水保险基金；④制定洪泛区统一开发规划和管理；⑤建立洪水保险管理机构。

根据洪水特性，应该大力推广洪水保险工作。强制性国家洪水保险是较为符合洪水灾害特点的理想模式。可以以强制性国家洪水保险为主体，结合通用型洪水保险、定向型洪水保险和集资型洪水保险实施，通过试点后进一步推广。

17.4.5 洪泛区管理

洪水灾害损失的增加趋势与洪泛平原的开发利用有着密切关系。随着洪泛平原开始有人居住，也就开始有了洪水灾害问题，并且开始筑堤防洪，吸引越来越多的人在洪泛平原定居，并加速了城市化的进程。洪泛平原土地价值越来越高，人口和财富越来越向洪泛平原聚集，土地就越紧张，就会造成侵占河道、填湖造田的现象，引发洪水位逐年抬高的趋势。在遭遇稀遇大洪水的情况下，便会给洪泛平原造成巨大的洪水灾害损失。例如，按照美国以前法律，一旦遭受洪灾后均可从联邦政府获得救济和补助，并且损失越大则补助越多，开发者没有经济压力和防洪意识，洪灾过后仍然对洪泛区继续进行不合理开发，吸引了人、财、物向洪泛区的聚集，从而加重了洪灾损失，形成恶性循环。这些问题单靠防洪工程是无法解决的，必须依靠国家法律法规，控制洪泛区不合理开发利用和财富的过度聚

集等措施加以解决。

洪泛区、防洪区等不仅是一个单纯的技术概念，涉及到防洪、土地利用、赔偿等活动，需要从法律角度加以规定。《中华人民共和国防洪法》规定："防洪区是指洪水泛滥可能淹及的地区，分为洪泛区、蓄滞洪区和防洪保护区。洪泛区是指尚无工程设施保护的洪水泛滥所及的地区；蓄滞洪区是指包括分洪口在内的河堤背水面以外临时贮存洪水的低洼地区及湖泊等；防洪保护区是指在防洪标准内受防洪工程设施保护的地区。洪泛区、蓄滞洪区和防洪保护区的范围，在防洪规划或者防御洪水方案中划定，并报请省级以上人民政府按照国务院规定的权限批准后予以公告。"防洪区涉及到国家、集体和个人的利益，在界定时要认真研究。

洪泛区土地管理，就是通过颁布法令条例等方式，限制洪泛区的新的开发和土地买卖，防止侵占泄洪区等，使洪泛区土地得到合理利用，从而减免洪水灾害程度。洪泛区土地管理，一方面对现状土地利用进行调整，另一方面规划未来土地利用。因此，对洪泛平原的土地进行管理，限制土地的不合理利用，对于降低洪水灾害损失，具有重要意义。

按照洪水水文和危害特征，对洪泛区进行分区，从各分区内建筑物高度、结构、人口密度、土地利用等方面实行不同的管理。洪泛区分区依据的是洪水特征、洪泛区地形特征。美国等西方国家一般将洪泛区划分为两种分区：行洪区和行洪边缘区。行洪区是指天然河道及其两岸滩地，是洪水的主要通道。行洪区应能宣泄设计洪水而不抬高上游水位。除特别许可外，行洪区不允许建设妨碍防洪的任何设施。特别许可的一般只限于游览娱乐场所、交通通道等。行洪边缘区是指遭遇设计洪水时，行洪区外淹没的洪泛区土地。行洪边缘区土地允许一定的限制性开发、合理性规划，并对建筑物高度、用途等加以控制。我国主要是依据洪水发生规律、洪泛区内的土地的位置、对行洪的作用及实际洪水运用情况，对洪泛区内土地实施不同的限制开发，一般按行洪的频率标准分类限制。

保护地区免遭洪水破坏的重点是保护各种公用和民用建筑物，主要是公共设施、厂房、仓库、居民住宅等，这些设施一旦破坏，影响极大，恢复重建难度大，费用高。因此根据洪泛区土地的洪水危险程度，对洪泛区内建筑物提出防洪要求具有重要意义。

西方一些国家一般根据洪水可能淹没深度确定建筑物最低标高和选择建筑物材料。建筑物结构必须具备承受的洪水压力和水流冲撞要求。我国各城市常见的是筑庄台、保庄圩、钢筋混凝土框架结构的避水楼等。这些防洪措施因各地习惯、地形等不同而有所差异，但目的都是为了减免洪水灾害损失。

洪水灾害防治是整个社会的责任，洪泛区的管理需要政府来实施。如将洪泛区邻河土地公有化，由政府安排露天开发，可以减轻洪灾损失。

为了减少流域整体洪涝灾害的损失，必须在新形势下对防洪区、洪泛区、分滞洪区的功能区进行认真界定，在此基础上，制定相应的法规，控制洪泛区和分滞洪区的经济发展规模和种类，研究各种防洪调度方案。

17.4.6 防洪法规

人类社会很早就认识到，为了更好地减缓洪水及内涝灾害，保证防洪排涝体系正常运行，必须制定一系列的法律和法规。

我国自古以来就是一个洪涝灾害严重的国家，防治洪涝一直是一项非常重要的任务，

水利法规在春秋时期已经出现。最初的水利法规多是某一水利门类的单项法规，或是附属在国家大法当中的有关条款，后来逐步改进完善，至唐代已有全国综合性的水利法典。

现在所能见到较早的系统防洪法令是金代泰和二年（1202 年）颁布的《河防令》，内容是关于黄河和海河水系的河防修守法规，共 11 条。其中，防汛工作采用长官负责制，要求每年要派一名政府官员沿河视察，督促地方政府和水利主管机关落实防洪措施；州县主管防洪的官员每年 6～8 月均要上堤防汛；平时分管官员轮流上堤检查。法令中要求对堤防险工情况要每月向中央政府上报，水利部门可以使用最快的交通工具传递防汛情况，情况紧急要增派夫役上堤等措施。《河防令》包含关于河防军夫有规定的假期、医疗保障，对沿河州县官吏防汛的功过进行考察上报等。

明清朝代防洪法规更为明确和完善。明朝万历《湖广总志》载有《修筑堤防总考略》和《护守堤防总考略》。《修筑堤防总考略》共 10 条，分别是：审水势，察土宜，挽月堤，塞穴隙，坚杵筑，卷土埽，植杨柳，培草鳞，用石甃，立排桩。《护守堤防总考略》针对堤防溃决的 3 种情况提出了 4 种管理措施，即立堤甲，免重役，置铺舍和严禁令等。

清代的防洪法规汇集在《大清会典事例》中，共计十九卷，内容包括：河防官吏的职责，河兵河夫、经费物料、疏浚、工具、埽工、坝工、砖工、土工等的施工规范，工程质量保证和事故索赔，种植苇柳以及河防禁令等内容。

现代人类社会的防洪法律法规已经更为健全。新中国成立以后，针对洪水灾害发生的特点和防洪减灾的需求，制定和不断完善防洪法规。

防洪法律法规的内容与一个国家或地区经济社会的发展阶段、经济条件、文明程度、社会需求密切相关。在西方国家，城市化程度很高，在充分利用雨水，降低地表径流系数即减少内涝方面，制定了一系列行之有效的法规。美国科罗拉多州、佛罗里达州和宾夕法尼亚州 20 世纪 70 年代制定了《雨水利用条例》，规定新开发区的暴雨洪水的最大流量不能超过开发前的水平，所有新开发区必须实行强制的“就地滞洪蓄水”。日本于 1992 年颁布了《第二代城市下水总体规划》，正式将雨水渗沟、渗塘及透水地面作为城市总体规划的组成部分，要求新建和改建的大型公共建筑群必须设置雨水就地下渗设施。德国制定的法律法规要求，在新建小区之前，无论是工业、商业还是居民小区，均要设计雨水利用设施，若无雨水利用措施，政府将征收雨水排放设施费和雨水排放费。我国正在经历快速城市化的阶段，国外在城市洪涝防治方面的法规值得借鉴。

17.4.7 灾情评估系统

洪灾评估对象主要是江河两岸、沿海地区、易受洪水灾害的蓄滞洪区和低洼易涝地区以及重点防洪、防台风城市等。建立洪水灾情评估系统，是有效地进行防洪规划，抗灾减灾，灾后恢复的重要基础工作，按照灾情评估的目的和防洪阶段可以分为灾前、临灾和灾后 3 个不同的评估类型。

灾前评估就是洪水灾害尚未发生之前，对可能发生的灾情进行评估，为防灾救灾的准备工作提供依据。这类评估的目的和用途为：

（1）针对流域或城市防洪工程规划，按指定频率的设计暴雨过程或历史暴雨过程，分析得出可能发生的洪水所造成的经济损失、人员伤亡及社会影响，用来评估防洪规划的社会效益和经济效益。

(2) 根据流域或城市现有工程条件，按一定的防洪调度方案以及减灾措施，重演历史雨洪过程，或某种可能发生的恶劣暴雨过程，模拟可能产生的灾情后果，以检验调度方案及减灾措施的合理性和可靠性。

临灾评估根据水文或气象预报，确认洪水过程即将或已经发生时，针对决策人员所作出的各种防洪调度方案，抗灾减灾措施及相应的洪水过程，进行洪灾损失评估，供防洪人员决策时对方案进行筛选，有助于防汛部门和地方政府了解可能的灾情后果，及时地进行救灾和灾后恢复工作。由于洪水灾情的突发性，临灾评估的要求是简捷快速。

灾后评估是在灾情基本稳定后，组织力量赴灾区实地调查评估。灾后评估需要对灾区经济损失进行分类、分项、分区，在选点、抽样和统计分析的基础上，提出洪水灾害的总评估。灾后评估主要是根据各部门提供的灾情资料，进行归类，分类统计分析洪水灾害的损失情况，并对各部门灾情资料进行分析甄别，以增加灾情损失统计结果的可靠性。灾后评估的结果可作为有关部门救灾的主要依据，并作为临灾评估结果可靠性的评价依据。

一般，洪水灾害评估的具体内容包括下列几个方面：

(1) 灾害影响的范围和强度。范围可用面积、数量表示；灾害强度可以定性为若干级，如特大、重大、大、中、小等。

(2) 经济损失。按农业损失、工业损失、商业损失、居民损失、其他行业损失等分类统计，也可以分地区统计。

(3) 城市生命线受害统计。所谓生命线指交通系统、供电系统、供水系统、供气系统、通信系统等，一般可按中断时间统计。

(4) 人员伤亡数目。

(5) 疾病及环境污染情况。

(6) 社会影响。

经济损失评估是洪灾评估的主要内容。洪水灾害所造成的经济损失包括直接损失和间接损失。直接损失主要是由于洪水直接淹没所造成的集体及个人财产的损失；间接损失指由于洪水期交通、电力中断，厂房、设备受损等造成的产品成本增加，停工、误工损失，以及合同无法按期完成的违约损失等，还包括防洪抢险、灾民撤离、疾病防治、灾后恢复等费用。由于对间接损失的详细分析和精确估计是很困难的，一般是根据典型实例的调查结果或经验估计得出间接损失占直接损失的百分数作为间接洪灾损失估算的依据。

由于生命损失、水源污染、疾病流行、社会不安定、生命线受损影响等是难以用货币表示的无形损失，如果能将无形损失按某种指标转换成经济损失，更有助于各种方案、措施、决策的制定和分析。否则，在决策过程中须单列考虑。

第 18 章　滨江地区水文计算方法

18.1　概述

在进行防洪安全保障规划时，水文计算是技术支撑，科学合理的水文计算方法是做好防洪规划的关键。

长期以来，水利部门采用的水文计算方法多数适用于山丘区域或人类活动影响不显著地区。由于滨江地区城市化的影响往往比较显著，下垫面土地利用性质和排水系统的变化导致了产流、汇流特性都有别于天然流域，在城市化区域的水文计算中，需要推求管道、河道、泵闸等防洪排水工程的水文水力设计值，如果直接移用传统的计算方法，则成果的可靠性、精度都存在一定问题。

我国现行体制是城建部门负责市区的排水规划，水利部门负责河道防洪规划，人为地将城市排水规划和防洪规划分开，且在水文计算方法上两个部门存在很大的差异，致使城市排水与河道洪水计算不能衔接。

区域防洪规划必须服从流域防洪规划，同时充分考虑上下游、左右岸的关系，协调与其他专业规划的关系。区域防洪规划中水文计算方法特点和适用条件，是一个十分值得讨论的问题，在区域防洪规划中不能简单地移用适用于流域防洪规划的水文计算方法。

18.2　设计暴雨计算

18.2.1　设计暴雨历时

设计暴雨历时不同，得出的设计雨量和平均雨强是有显著差别的。根据水文计算原理及方法，设计暴雨历时不小于流域的汇流时间，需根据水文计算要求确定。流域汇流时间主要取决于流域特性，包括汇水面积、流域形状、地面坡度、土地利用性质、河网密度、河道特性、河湖调蓄容积等。

对于城市化地区的管道排水系统，一般采用暴雨公式推求设计雨强，设计历时等于汇水面积的汇流时间，即汇水区域最远点水质点流到设计断面所需时间，其数值等于该水质点流动路线上的地面汇流时间与管道汇流时间之和。地面汇流时间与管道汇流时间的计算方法如下。

1. 城市排水坡面汇流时间计算

按管道排水设计要求，城市排水计算的地面汇流时间一般根据雨水井集水面积、地面坡度、土地利用性质查排水手册得出。也可以采用公式推求，例如运动波法公式：

$$t_c = 1.359\ L^{0.6}\ n^{0.6}\ i - 0.4\ J^{-0.3} \tag{18.1}$$

式中　t_c——坡面汇流时间，min；

L——坡面流长度，m；

n——地面糙率，可以根据地面土地利用性质查表 18.1；

i——降雨强度，mm/min；

J——地面平均坡度。

表 18.1　　地面糙率查算表

地面状况	糙　率	地面状况	糙　率
商业区	0.015～0.030	郊区住宅区	0.030～0.055
半商业区	0.020～0.035	公园	0.040～0.080
密集住宅区	0.025～0.040	轻工业区	0.015～0.035

2. 管道汇流时间计算

在管道设计条件下，根据平均流速可计算到得管道汇流时间：

$$t_f = mL/60V \tag{18.2}$$

式中　t_f——管流时间，min；

L——管长，m；

V——管道水流平均流速，m/s；

m——反映管道调蓄作用的延缓系数，一般可取 $m=2$。

关于城市排涝河道，设计暴雨历时的确定比较复杂。原因之一是河道是管道出流的接收水体，排涝标准一般高于管道排水标准，以保证河道排涝设计条件下满足管道排水要求。而在此时，管道排水系统处于超载状态，地面存在不同程度积水，管道排水历时会大于管道排水设计历时。原因之二是河道的调蓄能力和水利工程调度方式对河道排水时间的影响是复杂的，与规划设计水利工程是相关的，在初始阶段无法可靠地确定。对于平原河网，河道汇流时间与河道长度、河网调蓄库容、水闸和泵站调度方式、河道泵站的排水能力有关；对于城市区域，河网汇流时间一般不会超过 24h。因此，在计算设计暴雨时要求综合考虑不同的设计暴雨历时，一般可以定为 1h、3h、6h、24h。这样，才能满足各种汇流时间情况下的防洪工程规划对设计暴雨计算的要求。

对于区域或流域排涝计算，设计暴雨历时一般大于城市区域，可以根据面积的大小计算，面积较小时取 1h、3h、6h、24h、72h，面积较大时可以扩展到 1d、3d、7d、15d、30d 以上。

18.2.2　设计雨量计算

在城市化区域或面积较小的区域，设计雨量计算常常采用暴雨公式。城市管道排水系统规划设计采用的暴雨公式是基于超定量选样方法得出的结果。常用暴雨公式为：

$$i = \frac{A(1+C\lg T)}{(t+B)^n} \tag{18.3}$$

式中　i——暴雨强度，mm/min；

A、B、C、n——暴雨公式参数；

t——设计暴雨历时，min；

T——重现期，年。

河道排涝规划设计采用的暴雨公式是基于年最大值选样方法得出的结果。常用的暴雨

公式为：

$$i = \frac{S_p}{t^n} \tag{18.4}$$

式中 i——暴雨强度，mm/h；

S_p、n——暴雨公式参数。

式（18.3）是一个综合的暴雨公式，从形式上看，适用于各种重现期和各种历时的设计暴雨计算。但由于管道排水系统设计重现期一般是0.5～5年，设计暴雨历时不超过3h，所以该公式主要适用于5年以下重现期和3h以下历时的设计暴雨计算。而对于历时较长、重现期较大的设计值误差会大一些。在制定和采用此类暴雨公式时应该注意公式参数的应用范畴。

式（18.4）为不同暴雨频率得出的公式，在水利部门应用较为广泛。根据水利文献分析，该公式在t=1h处存在转折，故以t=1h为分界，分别采用不同的n值，以保证计算结果更为精确。对江苏省典型城市暴雨资料分析发现，在t=6h存在一个转折点，如果1～24h采用相同的n值将会产生误差，需加以注意。

对于有降雨资料的地区，建议在区域排涝规划中推求设计暴雨时，采用当地雨量资料进行频率分析计算，得出相应的设计值，这样成果将更为可靠。根据SL 44—93《水利水电工程设计洪水计算规范》，需根据30年以上实测雨量资料，采用年最大值方法选样，点绘频率曲线，分析统计参数均值、偏差系数C_v、偏态系数C_s，得出指定时段设计雨量。

对于缺乏雨量的区域，可以采用等值线图法。各省和流域机构的水文部门一般都制定了相应地区各时段雨量统计参数的等值线图，可供查用。这一方法可以用于无雨量资料河道和小流域设计暴雨计算。但由于等值线图中暴雨统计参数的选样方法是年最大值法，不能用于管道排水系统设计暴雨计算。此外，采用暴雨移植法移植邻近地区的特大暴雨或暴雨参数，也可以解决本地缺乏雨量资料或雨量系列代表性不足的问题，这主要适用于非城市的较大流域。

18.2.3 设计暴雨时间分布

河道排涝的设计暴雨过程一般选择典型暴雨，针对几种对规划结果有影响的设计暴雨历时（如1h、3h、6h、24h），采用同频率缩放法推求设计暴雨。为了保证能够可靠地排除管道系统汇入河网的涝水，满足管道系统排水要求，对于用于河道排涝规划设计暴雨的雨强过程线中，时段最大雨强应该大于或等于管道设计雨强。如果不满足这一条件，必须调整河道排涝设计暴雨过程，适当增大最大时段雨强，或者重新选择合适的典型暴雨过程，以满足上述条件。如果经调整难以满足上述条件，其原因可能是采用的河道设计暴雨重现期过小，不能与管道设计重现期相配合，需增大河道设计暴雨重现期标准。采用上述方法，可以基本解决管道设计暴雨与河道设计暴雨时程分配的衔接问题。

对于城市化区域，设计暴雨的时间分布可以采用芝加哥公式法。这一方法是根据暴雨公式

$$i = \frac{a}{(t+b)^n} \tag{18.5}$$

推导出的一个瞬时雨强公式，它以雨峰为坐标原点：

雨峰前：
$$I_1 = a[(1-n)(t_1/r)+b]/(t_1/r+b)^{n+1} \tag{18.6}$$

雨峰后：
$$I_2 = a[(1-n)t_2/(1-r)+b]/[t_1/(1-r)+b]^{n+1} \tag{18.7}$$

式中 I_1、I_2——雨峰前 t_1 和雨峰后 t_2 时刻的瞬时雨强，mm/min；

r——峰前历时与总降雨历时之比；

a、b、n——暴雨公式中的参数。

芝加哥公式法不需要采用暴雨典型，适用于短历时设计暴雨时程分配，得出的暴雨过程的各时段均满足设计频率，与同频率法的本质是相同的。该方法必须将瞬时降雨强度转换为时段雨强。

18.2.4 设计暴雨空间分布

对于天然流域，有文献认为 300km² 以下为小流域，可以用点雨量代替面雨量。但是，对于短历时的暴雨，如 1h、3h、6h 的暴雨，暴雨在区域分布的不均匀性远大于 24h 以上的暴雨。如果短历时暴雨采用以点雨量代表面雨量的方法，会使得超短历时暴雨的区域平均雨量显著偏大，影响河道最大设计排涝流量的计算结果。解决的方法是对于短历时暴雨，如果有可能，应采用两个站以上的点雨量推求面雨量，或者研究短历时暴雨点面关系，用以推求设计面雨量。如果河道调蓄能力较大，可以采用相对较长的设计暴雨历时。对于短历时暴雨的空间分布规律，还需要更密集的雨量站资料加以分析。

典型暴雨法、同倍比法、同频率法是设计暴雨空间分配的常用方法。

1. 典型暴雨法

选择历史上发生的典型大暴雨作为设计暴雨，用于区域防洪规划设计。其优点是不用对暴雨进行缩放，故暴雨不会产生变形，且周边相应的水文气象条件及其他条件与暴雨过程易于匹配，使得计算过程减少矛盾。缺点是暴雨重现期难以确定，没有严格的设计频率的概念。

2. 同倍比法

将规划区域分为若干分区，采用同倍比法在指定设计时段内对典型暴雨过程的缩放公式：

$$P_{p,j} = \frac{X_p}{X_D} P_{D,j} \tag{18.8}$$

式中 $P_{p,j}$——规划区域第 j 分区设计雨量，mm；

$P_{D,j}$——规划区域第 j 分区典型雨量，mm；

X_p——规划区域设计雨量，mm；

X_D——规划区域典型雨量，mm。

该方法计算出的暴雨时间和空间分布的形状不会发生变化，仅降雨强度的同倍比改变。缺点是仅一个时段的雨量满足设计频率，当规划区域设计暴雨的敏感历时未知或变化时，或者各项防洪排涝工程具有不同的敏感历时，同倍比法得出的设计暴雨结果无法满足上述要求。

3. 同频率法

以指定分区与规划区域雨量同频率，其他分区相应，则指定分区的雨量按下式计算：

$$P_0 = k_{0,t_i-t_{i-1}} P_D \tag{18.9}$$

$$k_{0,t_i-t_{i-1}}=\frac{X_{0P,t_i}-X_{0P,t_{i-1}}}{X_{0D,t_i}-X_{0D,t_{i-1}}} \tag{18.10}$$

式中 P_0——指定分区设计雨量，mm；

P_D——指定分区典型雨量，mm；

$k_{0,t_i-t_{i-1}}$——降雨历时为 $t_{i-1}\sim t_i$ 之间雨量缩放系数；

X_{0P}——指定分区 t 时段设计雨量，mm；

X_{0D}——指定分区 t 时段典型雨量，mm。

其他分区的相应雨量：

$$P_M=k_{t_i-t_{i-1}}P_{1D} \tag{18.11}$$

$$k_{t_i-t_{i-1}}=\frac{X_{M,t_i}-X_{M,t_{i-1}}}{X_{D,t_i}-X_{D,t_{i-1}}} \tag{18.12}$$

$$X_{Mt}=\frac{X_{pt}F-X_{0t}F_0}{F_M} \tag{18.13}$$

式中 P_M——其他分区相应设计雨量，mm；

P_{1D}——其他分区典型雨量，mm；

$k_{t_i-t_{i-1}}$——降雨历时为 $t_{i-1}\sim t_i$ 之间雨量缩放系数；

X_M——其他分区 t 时段相应雨量，mm；

X_D——其他分区 t 时段典型雨量，mm；

F——规划区域总面积，km^2；

F_0——指定分区的面积，km^2；

F_M——其他分区的面积，km^2。

同频率法可以保证指定设计时段规划区域和指定分区雨量等于设计频率，满足各种规划方案水文计算要求。缺点是对雨量时空分布分时段和分区缩放会引起雨型时空分布的变形，且统计时段和分区数愈多，雨型变形愈大。

18.2.5 推荐方法

根据滨江地区水文、气象、地理特性分析，建议：

（1）城市管道排水系统设计暴雨采用式（18.3）推求，暴雨时程分配可以采用芝加哥公式法。

（2）流域、区域或圩垸地区设计暴雨时段雨量计算采用雨量频率分析的途径，采用其他方法加以论证分析。

（3）山丘区小流域设计洪峰计算可以采用式（18.4）推求设计暴雨。

（4）设计暴雨的时间分布采用对典型暴雨的同频率缩放法。如果是城市化区域，河道设计暴雨最大时段雨量不得小于城市管道排水系统相应设计雨量。

（5）设计暴雨的空间分布，暴雨中心应位于重点保护区域（如中心城区），雨量的空间分配采用同倍比法或同频率法均可。

18.3 产流计算

18.3.1 城区产流计算

中心城区主要是指采用管渠排水系统的城市区域。由于地下径流一般并不直接进入管道

排水系统，排水接纳的水量基本来自集水区域内的地面径流。大部分地面径流来自于城市铺砌面积，铺砌面积不透水程度与铺砌面积的性质有关，不同性质的铺砌面积，其下渗能力和洼蓄量存在差别。透水面积主要指城市绿地，其地表下渗能力很强，绿地面积上大部分雨水下渗进入地下，补充包气带缺水和地下水，产生的地表径流量较少，且主要发生在暴雨强度较大的时段。有一些绿地由于周边的路面高程较高，可能永远也不会产生地表径流。

从产流角度分析，在防洪规划阶段，根据排水手册地面覆盖种类，可以将城市土地利用种类概化为三类进行产流计算，得出排水系统服务区域的综合地表径流系数：

$$\alpha = \sum \alpha_i F_i / F \tag{18.14}$$

式中 α——对应于面积 F 的地表径流系数；

α_i——对应于面积 F_i 的地表径流系数；

F——流域面积。

如果按 3 年以下的重现期，设计暴雨历时不超过 6h，建议采用表 18.2 查算单一地面覆盖的地表径流系数。如果缺乏比较确切的土地利用分类资料，也可以根据区域土地利用特点，采用表 18.3 查算区域径流系数。得出排水片地表径流系数后，可以根据设计暴雨推求设计净雨。

表 18.2　　分类地表径流系数查算表

地表覆盖种类	地表径流系数	地表覆盖种类	地表径流系数
屋顶、混凝土、沥青地面	0.90	绿地	0.15
砖石路面	0.60		

表 18.3　　区域地表径流系数查算表

建筑稠密的中心区（铺砌水面积大于 70%）	0.6～0.8	建筑较稀的居住区（铺砌面积占 30%～50%）	0.4～0.6
建筑较密的居住区（铺砌面积占 50%～70%）	0.5～0.7	建筑很稀的居住区（铺砌面积小于 30%）	0.3～0.5

近年来，国际上对城市产流研究更为深入，强调采用数学模型，较为精确地根据暴雨过程来模拟城市地面产流过程。模型主要是根据土地利用性质，将汇水面积分为水面、不透水面积、半透水面积、绿地面积四部分，分别计算产流过程。

1. 水面

采用水量平衡方程计算，水面产流（净雨深）为降雨量与蒸发量之差：

$$R_0 = P - E_0 \tag{18.15}$$

式中 R_0——水面净雨深，mm；

P——降雨量，mm；

E_0——水面蒸发量，mm。

2. 不透水面积

不透水面积包括屋顶、广场、公路等，其特点是不存在下渗，净雨深为降雨与洼蓄量之差：

$$R_1 = P - D - E \tag{18.16}$$

式中 R_1——不透水地面净雨深，mm；

D——不透水面积或半透水上的平均洼蓄量，mm；

E——地面蒸发量，mm。

3. 半透水面积

半透水面积是指由砖石、透水材料铺砌的地面，以及被踩实的土地面，兼具不透水和下渗两种特点。即降雨后部分面积很快产生地表径流，但同时又存在不同程度的下渗。计算方法：

$$R_2 = R_{21} + R_{22} \tag{18.17}$$

$$R_{21} = a(P - D - E) \tag{18.18}$$

$$R_{22} = (1 - a)(P - D - E - F_2) \tag{18.19}$$

式中 R_2——半透水地面净雨深，mm；

a——半透水面积直接产流面积比；

F_2——半透水面积下渗量，mm。

4. 绿地面积

$$R_3 = P - D_3 - E_3 - F_3 \tag{18.20}$$

式中 R_3——绿地净雨深，mm；

F_3——半透水面积下渗量，mm；

D_3——草地平均洼蓄量，mm；

E_3——草地蒸发量，mm。

如果城市树冠覆盖率较大，需考虑植物截留量，可以归并到洼蓄量中，在降雨初期扣除。

18.3.2 区域产流计算

在很多区域防洪规划中，常采用流域或省市水文手册中的一些水文计算方法。这些方法应用于具有天然流域性质的山丘区，具有一定的精度，但对于人类活动影响比较显著的区域，计算成果的可靠性不足。

滨江地区人类活动最为频繁，城市化特征明显，土地利用性质多样，水文特性较为复杂。河海大学水文水资源学院通过多年来的研究及实践，提出了适合于滨江地区水文计算的一套计算产流模式，其核心内容是将下垫面划分为水面、水田、旱地、山丘区、城区5种土地利用类别，分别采用相应的产流计算方法。

水面、城区产流计算方法已经在前文论述。

1. 水田产流计算

设水稻生长的适宜水深范围为 $H_1 \sim H_2$，耐淹水深 H_3，则在正常情况下，水田引排水的一般方式为：当由于水田蒸散发使蓄水深度 $H < H_1$ 时，水田引水灌溉至 H_2；当降雨期 $H > H_3$ 时，水田以最大排水能力 H_e 为上限排水；当 $H_1 \leqslant H < H_3$ 时，水田不引不排以减少动力消耗。因此，水田地表引排水量 R_2 可用式（18.21）描述：

$$\begin{aligned} R_1 &= H_1 - H \quad && H < H_1 \\ R_2 &= 0 && H_1 \leqslant H < H_3 \\ R_2 &= H - H_3 && 0 < H - H_3 < H_e \\ R_2 &= H_e && H - H_3 \geqslant H_e \end{aligned} \tag{18.21}$$

当计算结果 $R_2>0$，表示水田排水；$R_2<0$，表示水田引水。水田 $t+1$ 日初始水深 H_{t+1} 采用水量平衡方程逐日递推：

$$H_{t+1} = H_t + P_t - E_t - I_t - R_g \tag{18.22}$$

式中 H_t，P_t，E_t，I_t，R_g——t 日水田初始水深，降水量，蒸散发量，下渗量，地表排水量。

水田蒸散发量 E 与水稻生长季节、气象条件、土壤条件、水稻品种等有关。一般是针对具体地区，分水稻生长季节或分月与水面蒸发值 E_0 建立相关

$$E = c_1 E_0 \tag{18.23}$$

综上所述，水田排水子模型共有 6 个参数：H_e、H_1、H_2、H_3、I、c_1。其中，H_e 反映了圩垸地区或农田的排水能力，可以采用设计排涝模数得出。其他 5 个参数与当地水文、气象、土壤、水稻品种及生长季节有关，一般以本地农业试验资料为基础，结合实测灌溉和排水资料综合分析确定。

2. 旱地与山丘区产流计算

滨江地区属湿润地区，根据近年大量科学研究和生产实践的成果，对于旱地与山丘区，均可以采用新安江三水源模型或降雨径流相关图推求产流量。模型参数根据实测水文、气象资料率定，缺乏实测流量资料的地区可以采用地区综合参数。值得注意的是旱地与山丘区产流参数是存在差别的，表 18.4 列出江苏省无锡市旱地新安江模型产流参数，可供参考。

表 18.4　　无锡市旱地产流参数

β	W_m	b	S_m	c	K_I	K_g
0.96	60	0.2	20	1.5	0.3	0.3

表 18.4 中：β 为旱地蒸发折算系数（针对 E_{601} 蒸发器观测值）；W_m 为土壤蓄水容量，mm；b 为蓄水容积曲线指数；S_m 为自由水蓄水容量，mm；c 为自由水容量曲线指数；K_I 为表层流出流系数；K_g 为地下径流出流系数。

18.3.3　产流方法对比分析

1. 径流系数折算法

径流系数折算法是根据设计暴雨，采用地表径流系数折算得出设计净雨：

$$h_i = \alpha P_i \quad i = 1,2,\cdots,n \tag{18.24}$$

这一方法能够简便地推求出设计净雨过程，可以用于城区产流计算。主要问题是按同一折算系数使得高强度时段的降雨损失过大，低估了最大时段雨强，使得计算结果偏不安全。此外，此方法没有考虑降雨初损。

2. 先损后损法

先损后损法将降雨损失分为初损 I_0 和后损 I_1 两部分，I_0 主要指所计算汇水区域的洼蓄、植物截留、初始下渗量之和，在设计暴雨初期扣除；I_1 是按产流后一个固定时段平均损失强度 φ，小于 φ 的雨量作为损失扣除，如图 18.1 所示。

先损后损法考虑了降雨初期损失较大的情况，能够得出设计净雨过程，可以用于城区产流计算。但这一方法使得雨强较小的时段地表径流深偏小，甚至为 0，不符合城区产流特点。

3. 下渗曲线法

下渗曲线法一般采用霍顿下渗公式推求下渗强度，低于下渗强度的雨量为降雨损失，从时段雨量中扣除。下渗强度大小与前期雨量或土壤含水量呈反比关系，如图 18.2 所示。

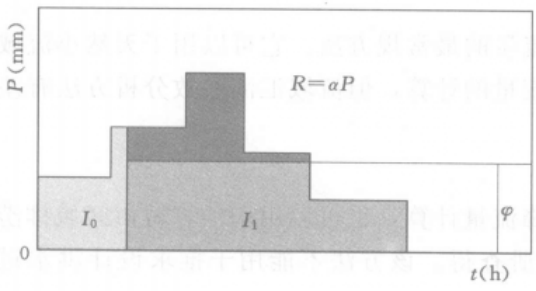


图 18.1　先损后损法示意图

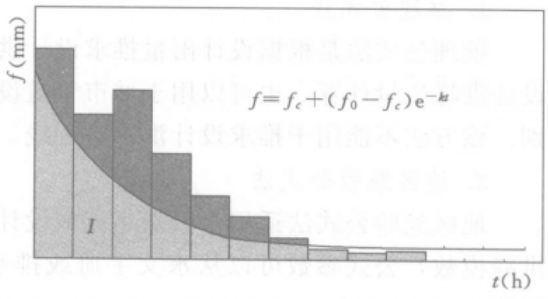


图 18.2　下渗曲线法示意图

这一方法适用于城市区域中汇水面积较小的透水区域产流计算，不可直接用于铺砌面积比例较大的区域。各类透水区域下渗参数如何选取是计算结果可靠性的关键。一些文献曾经对典型城市的下渗参数做过研究，但在我国应用尚不成熟，迄今没有编制出手册以供查用。因此，下渗曲线法在我国城市产流计算中应用不多。

4. 降雨径流相关图法

降雨径流相关图法可以根据设计暴雨过程和设计条件下的土壤含水量，由降雨径流相关图推求设计净雨过程，在我国很多省和流域的水文手册上有关这一方法应用的描述，或编制了地区综合参数。这一方法主要适用于山丘区或农业区产流计算，一般不能用于城区。对于水田面积较多的区域，可靠性较差，需对成果的合理性进行论证。

5. 蓄满产流模型

蓄满产流模型是适用于湿润地区的产流计算模型，尤其是人类活动影响较小的山丘区，是我国应用最广泛的流域性产流模型。目前也有人在旱地和非耕地采用这一模型。模型需实测资料率定参数，或采用区域综合参数。

6. 农业区灌排模型

农业区灌排模型主要是针对农业区域，将下垫面分为水面、水田、旱地（包括非耕地和山丘区）分别计算产流量的一个数学模型。模型最大的特点是对水田产流的计算部分比其他方法更为比较合理，计算结果可靠性的关键是模型中参数的选取和率定。

7. 城市产流模型

城市产流模型主要将城市区域划分为不同的土地利用部分，如水面、不透水铺面、半透水铺面、透水面积，根据设计暴雨分别计算净雨过程。该模型主要适用于管道排水区域产流过程计算。

18.3.4　推荐方法

管道排水区域产流计算方法推荐采用城市产流模型。在参数分析率定比较困难时，也可以采用地表径流系数折算法或先损后损法推求设计净雨过程。

农业区产流计算推荐采用农业区灌排模型。

山丘区产流计算建议采用蓄满产流模型或降雨径流相关图法。

18.4 坡面汇流和河网入流计算

18.4.1 坡面汇流方法分析

1. 推理公式法

推理公式法是根据设计雨量推求设计洪峰流量的最常规方法。它可以用于天然小流域设计洪峰流量计算，也可以用于城市管道设计流量的计算，但流域汇流参数分析方法有差别。该方法不能用于推求设计洪水过程线。

2. 地区经验公式法

地区经验公式法适用于天然小流域设计洪峰流量计算，也可以用于估算城市区域排涝洪峰模数，公式参数可以从水文手册或排水手册查得。该方法不能用于推求设计洪水过程线。

3. 概化过程线法

概化过程线法主要是根据推求出的设计洪峰流量、设计洪量、设计洪水历时，概化为三角形、五边形、指数型、综合型等洪水过程线。该方法主要适用于山丘型或天然流域的水利规划和设计。

4. 单位线法

经验单位线法是根据流域实测雨量和流量资料，分析归纳得出的 10mm 单位线，用于由设计净雨推求设计流量过程线。经验单位线必须依据实测水文资料，且不受出口断面下游水流的影响，适用于具有实测流量资料且不受人类活动影响的山丘区流域。

瞬时单位线是用数学方程表达的单位线，常用的纳须（J. E. Nash）瞬时单位线的主要参数为 K 和 n，这两个参数反映流域的汇流特性，可以与流域和河流特征等地理参数建立地区经验关系，各地水文手册中可以查到。这一方法主要用于推求无流量资料的山丘区流域设计流量过程线，有时也用于农业区排水径流计算。

5. 等流时线法

等流时线是在流域上汇流时间相同的等值线，两条等流时线间的面积称为等流时面积。按等流时面积可以根据设计净雨过程推求流域出口流量过程线。等流时线可以根据流域地面特性和管渠特性采用水力学方法和经验公式推求。方法可以用于城市管渠排水系统推求设计流量过程线。山丘区、农业区流域一般较少采用这一方法。

6. 线性水库法

线形水库法主要依据的方程是水量平衡方程和线性动力方程：

$$\frac{dV}{dt} = Q - q \tag{18.25}$$

$$V = kq \tag{18.26}$$

式中 V——水库库容，m^3；

Q——水库入流流量，m^3/s；

q——水库出流流量，m^3/s。

求解微分方程得

$$q_{t+\Delta t} = \bar{Q}_t - (\bar{Q}_t - q_t)e^{-\Delta t/k} \tag{18.27}$$

假定流域系统是一个水库，则根据上述方程可以逐时段推求出流过程线。线性水库方法应用较为广泛，在城市水文模型中可以用于城市地面汇流演算；也常用于地下水调蓄计算，如新安江模型中的应用。

7. 非线性水库法

非线性水库法采用了非线性动力方程

$$V = kq^n \tag{18.28}$$

公式中的指数 n 不等于 1，在很多文献中采用 2/3。非线性水库方程组在大部分情况下无法直接求解，可以采用级数解或差分法求解。非线性水库法适用于城市坡面汇流计算。

8. 时间推移法

根据坡面汇流时间，将产流过程进行时间平移，得出坡面出流过程，即不考虑坡面汇流过程中的流量变形。坡面汇流时间可以采用水力学公式或经验公式估算，也可以从有关的排水手册、水文手册查用。

18.4.2 推荐方法

无流量资料山丘区汇流计算可以采用瞬时单位线方法或推理公式法；有实测流量资料闭合流域可以采用经验单位线方法；地下水汇流计算可以采用线性水库方法。

城市管网汇流直接用推理公式法，坡面汇流计算采用时间推移法。

圩垸地区排水计算可以按设计泵站排涝能力为上限控制排水。

平原区坡面汇流可以采用线性水库法演算或时间推移法。

18.5 圩垸排涝模数的计算

18.5.1 圩垸排涝模数的影响因素

排涝模数是指设计洪峰流量与排涝面积的比值。影响排涝模数的因素包括设计暴雨历时、强度和频率，排水区形状，排涝面积，地面坡度，土地利用性质，土壤性质，地下水埋深，河湖调蓄能力，排水沟网分布，排水沟比降以及排涝模式等。

土地利用、土壤性质、地下水埋深主要会影响产流总量及产流过程，地面坡度、排水沟底比降反映了径流的坡面汇流速度或集流时间，这些均可在入河流量过程线中反映。由于滨江地区的圩垸地势低平，河湖密度较高，河网的沟通和调蓄能力强，排涝面积、排水区形状、排水沟网分布等因素对排涝模数计算约束性较小。因此，圩垸设计排涝模数的计算，主要取决于入河流量过程线、圩垸河湖调蓄容量以及泵站排涝模式。

18.5.2 农业圩垸排涝模数计算

在以农业为主的圩垸地区内，农作物主要是水稻、旱作物、经济作物等，大部分农作物具有一定的耐淹能力，故暴雨形成的涝水可以在农作物耐淹期限内滞留在农田中。因此，农业圩垸排涝模数计算按 t 日涝水 T 日排出，计算公式为：

$$M = 0.0116(R_t - \alpha\Delta Z)/T \tag{18.29}$$

式中 R_t——t 日暴雨产生的涝水总量，mm；

T——排涝历时，d；

α——圩垸内水面率；

ΔZ——圩垸内沟塘预降水深，mm。

农作物的受淹时间和淹水深度是有一定限度的，超过这样的范围，农作物正常的生长就会受到影响，造成减产甚至绝收。在产量不受影响的前提下，农作物允许的受淹时间和淹水深度，称为农作物的耐涝能力或耐淹时间、耐淹深度。

旱作物受淹减产情况与作物的耐淹时间和深度、作物的品种、生长发育阶段有关。一般，小麦、棉花、玉米、大豆、甘薯等农作物当积水深 10cm 时，允许的淹水时间应不超过 1～3d。而蔬菜、果树等一些经济作物耐淹时间更短。水稻虽然是喜水好湿作物，大部分生长期内适于生长在一定水层深度的水田里，超过水稻的适宜水深在耐淹水深范围内数天内对水稻生影响不大。但如果水田中积水深超过水稻的耐淹能力，同样会造成水稻的减产，其中以没顶淹水危害最大，除返青外，没顶淹水超过 1d 就会造成减产的现象。因此，在制定农业区排涝标准时，排涝历时取值不宜大于 3d。

为了及时腾空圩垸地内调蓄库容，预防下次暴雨洪涝，沟塘及农田中滞留的涝水需在一定的时限内全部排出圩垸地区，圩垸地内河道恢复到雨前水位，按此要求计算最低排涝模数。

18.5.3 城市圩垸排涝模数计算

通过产流及坡面汇流计算，可以由设计暴雨推求得出管网系统的出流过程，即河湖入流过程线。由于设计条件下城市不允许地面积水，除河湖储蓄部分水量，其余涝水必须及时排除出圩垸外。根据管网系统排水的入河过程线，以河湖调蓄库容为控制，采用图 18.3 所示的割平头方法可以计算排涝模数

$$M = \frac{R_k - W}{3.6K} \tag{18.30}$$

式中 M——排涝模数，$m^3/s \cdot km^2$；

W——调蓄库容，m^3；

K——河湖蓄水小时数，h；

R_k——河湖蓄水时间内的入河涝水总量，mm。

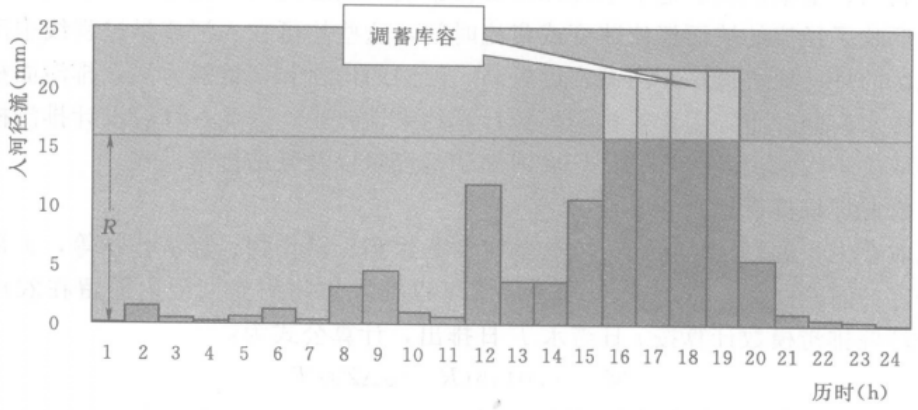


图 18.3 城区排涝模数计算示意图

对于一些不能受淹的特殊行业和地区，例如养鸡场、经济作物种植地、农村集中居住区等，排涝模数也可以根据具体要求适当提高标准，或参照城市圩垸排涝模数标准。

为了及时腾空调蓄库容，预防下次暴雨洪涝，城市圩垸中河湖中滞留的涝水一般需在24h内全部排出。

18.6 河道汇流计算

18.6.1 河道汇流方法分析

1. 马斯京根法

马斯京根法流量演算方程：

$$q_{i+1} = C_0 Q_{i+1} + C_1 Q_i + C_2 q_i \tag{18.31}$$

式中 q——河道出流量，m^3/s；

Q——河道入流量，m^3/s；

C_0，C_1，C_2——系数。

$$C_0 = \frac{0.5\Delta t - Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_1 = \frac{0.5\Delta t + Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_2 = \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

式中 参数 K 和 x 根据实测流量资料确定。

马斯京根法流量演算方法适用于山丘区河道。

2. 调蓄演算法

(1) 连续方程：

$$\frac{dV}{dt} = Q_t - q_t \tag{18.32}$$

式中 V——河道蓄水容积，m^3；

q——河道出流量，m^3/s；

Q——河道入流量，m^3/s。

式 (18.32) 差分形式

$$\frac{Q_i + Q_{i+1}}{2}\Delta t + \frac{q_i + q_{i+1}}{2}\Delta t = V_{i+1} - V_i \tag{18.33}$$

(2) 动力方程：

$$q = f(V) \tag{18.34}$$

根据初始条件和入流过程，求解方程 (18.33) 和方程 (18.34)，可以得出计算断面的出流过程线。这一方法适用于河道计算断面控制建筑物具有稳定水位流量关系的情况。

3. 曼宁公式法

计算单一河道的设计洪峰流量，可以采用曼宁公式：

$$Q = \frac{1}{n} J^{1/2} R^{2/3} A \tag{18.35}$$

曼宁公式一般不适用于河网设计流量计算，也不适用于单一河道非恒定流计算。

4. 水面曲线法

河段水面曲线基本方程形式为

$$Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} + h_f + h_j \tag{18.36}$$

式中 Z_1，Z_2——河段上下游断面水位，m；

V_1，V_2——河段上下游断面流速，m/s；

a_1，a_2——河段上下游断面动能修正系数；

h_f——河段上下游断面之间的沿程水头损失，m；

h_j——河段上下游断面之间的局部水头损失，m。

求解方程的边界条件可以是水位、流量或水位流量关系。这一方法主要适用推求单一河道的设计水面曲线，以确定沿河规划设计的水工建筑物的高程。

5. 明渠非恒定流法

描述水流在明渠中运动的一维非恒定流基本方程是圣维南方组，包括连续方程和动力方程：

$$B_T \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \tag{18.37}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial Z}{\partial x} + gA\frac{|Q|Q}{K^2} = 0 \tag{18.38}$$

式中 q——河道旁侧入流，m^2/s；

B_T——当量河宽，m；

Z——断面水位，m；

Q——流量模数，m^3/s；

A——过水面积，m^2；

g——重力加速度，m/s^2。

该方法可以用于河网水力计算，适用于各种水流状态，但一般不适用于急流状态的水流计算。

18.6.2 推荐方法

对于平原河网地区，建议采用以圣维南方组为基础的明渠非恒定流模型进行河网汇流计算。

对于山丘型单一河道，可采用马斯京根法、水面曲线法。

对于水库、湖泊可以采用调蓄演算法。

第19章　滨江地区水系规划

19.1　滨江地区水系特点及问题分析

19.1.1　滨江地区水系的特点

水系是具有同一归宿的水体所构成的水网系统，是由流域内大大小小的河流、湖泊、沼泽、水库、沟塘构成的脉络相通的水流系统。滨江地区地势平坦，水系发达，河流纵横交错，常呈网状分布，称之为平原河网地区。滨江平原水系具有以下特点：

（1）河塘密集，水流贯通，河网水流流向顺逆不定、流态变化较大，水文条件复杂。

（2）河网径流过程不仅受本区降雨径流的影响，还与上游区域、支流来水、下游外海潮位或江湖水位有密切联系，整个洪水演进过程复杂。

（3）主支流间层次复杂，湖泊沟塘星罗棋布，村镇农田散布其间，河流多筑堤防洪，设涵闸控制，形成复杂的水系网。

（4）地势低洼，地面高程往往在汛期洪水位以下，河道比降平缓，每逢暴雨，河湖水位暴涨，加上河网尾闾泄受潮位顶托，泄水不畅，高水位持续时间长。

19.1.2　滨江水系的综合功能

滨江平原是城市发达、人口众多的地区，又是湖泊密布、地势较低、易于发生洪涝灾害的地区。滨江平原水系除了具有防洪排涝、引水灌溉、水运交通功能以外，还具有提供水源、保护环境、净化污水、旅游娱乐、生态涵养等多项功能。滨江平原河网也是区域最美好的公共空间，可以保持物种多样性，为市民创造文体娱乐、亲近自然的空间，对区域生态建设具有重要意义。

（1）水系是有效地降解净化污染物的天然场所，可吸收二氧化碳、增加氧气含量，缓解热岛效应。

（2）水系是区域、城市生活生产用水的备用水源，是水安全的保障系统。

（3）水系是多种生物栖息地和空间运动的通道和载体，是人类赖以生存与发展的支撑系统。

（4）水系是体现和记载历史文化之所在，具有休闲旅游功能，是人工建筑之中反映自然景观、田园风貌的主要场所。

（5）一个完善的水系具有明显的经济价值，促进旅游，吸引投资和增加周围地区的土地价值。

随着经济社会的发展，人们对更高生活质量的追求，水系的生态环境、景观旅游等功能也日益突出。规划水系、改善水生态，已成为全社会十分关注的问题。

19.1.3　人类活动对水系的影响

滨江区域水系包括自然形成和人工开挖的河流、运河、沟渠、湖泊及水库。与天然流

域的江河水系相比，滨江平原河网与区域间人类活动的交互影响非常显著。一方面，区域的经济、社会活动高度依赖区域水系提供的防洪、供水、排水、航运、生态、景观等功能；另一方面，区域经济社会活动对水系的水流、水质、水循环等各个方面又都有着十分显著的影响。其中人类活动对水系的不利影响主要表现在以下几个方面：

（1）在区域城市化进程中，地面状况和自然水系都发生了很大的变化。原有的植被和土壤地面被不透水的建筑和道路所覆盖，削弱了地表蓄水、植物拦截和土壤下渗的功能，造成地下水补给不足、地表径流量增加，加上排水管网的建设，明显缩短了汇流时间，增大了雨水径流量和洪峰流量，改变了水系水流特性，增加了水系的排涝压力。

（2）研究表明，人类活动的增强，尤其是城市化的快速进展会显著降低区域水面率，并造成断头浜、河道淤积。例如，洞庭湖周边平原区域是湖南省经济最发达的地区，人类活动比较频繁，对自然生态、河流水系、水文状态、洪水特性产生一定的影响。1954～1958年间大规模湖区治理，堵支并垸，围湖垦殖，开发湖滩，共减少湖泊面积1510km^2。1959年后垸内水面积逐渐被农田和城市蚕食，内湖面积从2300hm^2降低到1997年的692hm^2。这种情况在我国滨江区域普遍存在。

（3）为了满足快速排水除涝、灌溉引水的要求，河道的景观生态功能被忽视，天然河道往往被裁弯取直。河道断面形式单一化，河道平面走向直线化，河道护坡硬质化，非主干河道不断减少，水系呈人工化、渠道化和主干化的趋势。

（4）河道整治偏重防洪功能，片面追求河岸的硬化覆盖，而淡化了河流的资源功能和生态功能，破坏了自然河流的生态链和原有的生态平衡，降低了自净能力。

（5）在人口密集、经济发达的平原地区，城乡的工业和生活污水排放以及农畜牧业非点源排放，造成河网水质普遍恶化，水体缺氧，富营养化严重，水生植物大量繁殖，不仅严重影响水体景观，而且使河网排涝受阻，加上河汊堵塞，降低了河网的调蓄、输水能力。

针对滨江地区经济发展对水系功能的影响，必须加大对水系的保护和治理，尤其是控制人类不当活动对水系产生的不利后果。进行科学合理的水系规划是进行水系保护和治理的关键。滨江地区经济社会发展对灌溉、排涝、防洪、污染控制和生态保护的需求，给水系规划提出了更高的要求。

19.2 水系规划的目的与原则

19.2.1 水系规划的目的

水系规划指以水系为主要对象，利用和保护水系资源，并对水系多种功能之间、水系与区域建设之间关系进行协调和具体安排。水系规划是建立在防洪排涝、水资源、水环境、水生态、水景观和水运的基础，规划的核心内容是建立一个适用于区域水资源综合开发利用要求的骨干河网，是在调查分析现状水系存在问题的基础上，以有利于区域水利的可持续发展为目标，制定满足各类涉水规划要求的水系布局。水系规划将调整现有的河道及水利工程，势必要改变原有水系的防洪情势。因此，针对水系规划中的河道及水利工程的调整，必须要进行防洪安全校核，力求水系规划能够同时满足防洪规划及其他涉水规划的要求。

在滨江地区水系规划设计中，应注重水系的自然性、多样性、连续性和系统性，在满足水系防洪、排涝、引水、航运等主要功能的同时，兼顾水系在环境、生态、休闲、旅游、景观等方面的综合作用。在采取工程措施的同时，采取人文的非工程措施重塑良好的水环境，创造安静、优美、自然、恬淡的人居环境，促进地区经济发展与人口、资源、环境相协调。

在滨江区域，水系空间作为生态环境最为重要的载体，规划设计必须体现生态优先的理念。水系空间生态优先的理念主要表现在：一是对水系原生态空间的保护；二是防洪、交通等基础设施设置对自然环境的尊重；三是对水污染的控制和治理。进行滨江地区的水系规划，在保障水系安全的同时，大力推进自然生态型河道建设的先进理念，注意恢复河道的原有结构形态，为生物营造多样的、丰富的环境条件，为生物提供更多生存空间，营造简洁自然的河流景观。

城市是滨江地区政治、经济、文化中心，水系是城市生活生产用水的备用系统、防灾系统和城市安全的保障系统。一方面要保护自然水资源，另一方面要对在城市化过程中弱化了的自然水资源系统进行补偿，为城市可持续发展提供条件。水系规划要注重水系景观及自然地形的利用与改造，充分考虑塑造自然式地形，尽量减少水工构筑物的负面效应。现代化的城市水系应是具有生态美、意境美、动态美、人文美、特色美、整体美、和谐美等多种美学功能整体复合的系统，达到改善城市生态、优化人居环境、提升城市功能的作用。

19.2.2 水系规划的原则

在水系规划中应该遵循下列原则：

(1) 与上一级水系规划、国土规划、城市总体规划、区域发展规划以及已批准的各类专业规划相协调，符合国家行业规范与管理法规。

(2) 综合考虑防洪、排涝、水资源、水环境、交通航运、水景观、水生态的规划要求，保证水系的通畅性，满足水体活动的要求，并注意保持河道的自然属性和生态功能。

(3) 充分兼顾水体、岸线和滨水空间 3 个层面的功能协调，形成完善合理的水系空间体系。充分考虑空间景观形象的展现和塑造，形成有地方特色的滨水空间景观。

(4) 体现生态优先的理念，尊重、保护自然生态环境。要具有长远观念，注意留有余地，充分结合城市的水文、地质、地貌、气候、生态特征，因地制宜，确保水系资源的持续利用。

(5) 共享性原则。水系空间是城市最为宝贵甚至是稀有的空间资源，在规划时确保水系的共享性是一个重要原则。水系规划必须符合区域经济社会发展总体目标，尊重水系自然条件，正确处理水系保护与综合利用的关系，体现城市规划对水系功能的引导和控制，实现社会、环境与经济并重的综合效益。

在水系规划中，应该尽量保持水系原有的形态，使水系向自然化、生态化、景观化的方向靠拢。但是并不是说天然的就一定是最好的，而且在人类活动频繁的地区，纯粹的天然水系也是不存在的，只要人类规划和改造水系的结果能够使得整个水网系统向良性循环的方向健康发展，可以改变水系现有的种种弊端，改善人与自然的关系，发挥水系的各种功能，这样的规划结果就是可以接受和值得提倡的。

19.3 水系规划的任务

19.3.1 水系规划工作步骤

水系规划主要是在分析平原河网地区水资源现状、自然地理特性、城市发展要求等基础上，针对各类涉水工程的规划建设、运行管理的需要，进行必要的水系调整，同时处理好水系与城市绿化空间体系、水系与环境质量的保护、水系网络的连通和衔接等多种关系，得出滨江地区合适的水系规划，最后利用水文水力模型对设计标准下的河道过水能力进行防洪校核计算，使之能够满足规划条件下的防洪安全要求。

水系规划需要在区域整体空间构架的基础上，确定水体功能和特征水位，合理界定滨水功能区，构建水系网络系统。也包括河道的清淤、河道断面形式及尺寸的设计，涉及到各种水文计算方法，包括设计暴雨计算、产汇流计算、排涝计算、河网计算等。主要有以下三大工作步骤：

（1）调查研究区域的地形地貌、行政区划、村镇、水系、土地利用、水利工程、水文测站、重点保护对象分布现状，分层绘制地理信息系统，作为水系规划的重要资料基础。

（2）根据水系规划的原则，综合考虑研究区域的多种规划要求，并听取当地有关部门的意见和建议，初步确定研究区域的水系规划布局，划分各类水体的功能及特征水位，界定滨水功能区蓝、绿、灰三线，确定河湖提出水系布局及建设规模。

（3）根据滨江地区的水流特性、产流机制，结合水资源综合规划及其他相关规划，对水系规划方案进行分析论证，提出推荐方案。

19.3.2 水体的功能划分

水体功能区是指水体及其周边一定范围的陆域共同构成的特定功能区。水功能区划是《中华人民共和国水法》赋予水利部门的一项重要职责。《中华人民共和国水法》规定“国务院水行政主管部门会同国务院环境保护行政主管部门、有关部门和有关省、自治区、直辖市人民政府，按照流域综合规划、水资源保护规划和经济社会发展要求，拟定国家确定的重要江河、湖泊的水功能区划，报国务院批准。跨省、自治区、直辖市的其他江河、湖泊的水功能区划，由有关流域管理机构会同江河、湖泊所在地的省、自治区、直辖市人民政府水行政主管部门、环境保护行政主管部门和其他有关部门拟定，分别经有关省、自治区、直辖市人民政府审查提出意见后，由国务院水行政主管部门会同国务院环境保护行政主管部门审核，报国务院或者其授权的部门批准。其他江河、湖泊的水功能区划，由县级以上地方人民政府水行政主管部门会同同级人民政府环境保护行政主管部门和有关部门拟定，报同级人民政府或者其授权的部门批准，并报上一级水行政主管部门和环境保护行政主管部门备案。”因此，水功能区划是水利部门依法进行水资源管理和保护、保障水资源可持续利用的依据，是水利部门在新时期治水方针指导下进行水资源保护、监督和管理，科学合理利用水环境承载能力，制定污染物入河总量限排意见，规范入河排污口，保护城市集中供水水源地等工作的基础。

根据水利部于2003年7月1日颁布实施的《水功能区管理办法》，水功能区分为水功能一级区和水功能二级区。水功能一级区分为保护区、缓冲区、开发利用区和保留区四类；水功能二级区是对一级区中开发利用区的细划，分为饮用水源区、工业用水区、农业

用水区、渔业用水区、景观娱乐用水区、过渡区和排污控制区七类。滨江地区人类活动影响显著，大部分水体属于《水功能区管理办法》的水功能二级区。在水功能二级区的七类水功能区中，排污控制区与过渡区的划分是最复杂、最敏感的环节。目前我国的水功能区划对排污控制区、过渡区还缺乏明确的界定。一般而言，排污控制区指生活、生产污废水排污口比较集中的水域，过渡区指为使水质要求有差异的相邻功能区顺利衔接而划定的水域。水功能区划技术导则对排污控制区与过渡区的范围及水质保护目标规定：入河排污口所在的排污控制区范围为该河段上游第一个排污口上游100m至最末一个排污口下游200m；该区域内污染物浓度可以超过Ⅴ类水标准，但排放浓度必须低于地面水排放标准，并保证通过过渡区后达到下游功能区水质的要求。

《水功能区管理办法》规定县级以上地方人民政府水行政主管部门，应在上一级水功能区划的基础上组织编制本地区的水功能区划，经征求同级人民政府有关部门意见后，报同级人民政府批准，并报上一级水行政主管部门备案。水功能区划经批准后不得擅自变更。社会经济条件和水资源开发利用条件发生重大变化，需要对水功能区划进行调整时，县级以上人民政府水行政主管部门应组织科学论证，提出水功能区划调整方案，报原批准机关审查批准。

《水功能区管理办法》中开发利用区的七类功能区划重点是水体水质支持的使用功能，还未涵盖作为一个水系整体所包含的其他功能。例如，河湖的排水、行洪、引水、航运需要水系具备通畅性、具有符合要求的河道规模及滨水功能等，一些河湖库塘规划需要满足水生态、水景观建设的要求。因此，建议在滨江地区水资源综合规划中，对水体功能再增加排水、行洪、蓄洪、引水、生态保护、航运等6项功能。这样，将更有利于滨江地区经济社会发展对水资源保护、开发和利用的要求。

水体功能的确定应尊重原有功能，按照区域发展要求，在水体综合评价基础上，充分论证并合理确定，需充分注意以下要点：

（1）同一水体一般兼有多种功能，一般需首先确定核心功能，其他功能的确定应不影响核心功能的正常发挥，并考虑综合社会经济效益。

（2）按照区域远期规划发展要求，优先确定水源和备用水源，确保用水安全。

（3）具有行洪、蓄洪要求的水体必须保证其行洪、蓄洪功能的发挥，保证区域防洪安全。

（4）确保珍稀水生生物栖息水体水域的原生态受到保护，具有足够水面积的江河湖库，应充分考虑生态功能。

（5）位于城区的水体应该充分考虑和确保相应的景观塑造和游憩功能。

19.3.3 滨水功能区三线的界定

滨水功能区包括水体、岸线和滨水区。岸线是指水体与陆地交接地带，有季节性涨落变化或者潮汐现象水体的岸线一般是指常年最高水位线与常年最低水位线之间的范围。水系岸线按功能分类可分为生态性岸线、生产性岸线和生活性岸线。生态性岸线是为保护生态环境而保留的自然岸线，生产性岸线属于专用岸线，生活性岸线为公共活动岸线。滨水区指与水体在空间上紧密联系的陆域范围，是影响水系功能发挥的主要因素。滨水区一般可分为滨水生态保护区、滨水风景区、滨水公共活动空间、滨水作业区。

为了更好地保护和发挥水系的作用，滨水区的建设应有利于对水体及岸线的保护，有利于滨水景观的塑造。滨水功能区应按蓝线、绿线和灰线3个层次进行界定。水系空间形态的保护应按照蓝线、绿线和灰线划定的不同区域，分层次进行保护。

蓝线是水体控制线，有堤防的水体蓝线为堤防堤顶临水一侧边线，无堤防的水体蓝线为历史最高洪水位或设计最高洪水位时水边线。鉴于河道的堤防、防洪墙、防洪通道、水利工程构建物的重要性，其占地面积应划入河道控制蓝线范围之内。蓝线区域内不得占用、填埋，并保持水体的完整性；对水体的治理应进行充分论证，确保蓝线区域面积不会减少。

绿线为水体周边绿化用地范围线，按照不同滨水功能区保护和利用的需要确定。一般情况下，水源地不小于300m，滨江公园不小于50m，生态保护区不小于江河蓝线之间宽度的50%，一般滨水区根据区域功能和水体面积，结合发展需要确定，最低不宜小于10m。自然保护区和水源保护区不得建设与水体保护无关的构筑物，其他绿线区域必须保证其共享性和连续性，并按照不同的功能定位限制建设的性质和规模，不得建设与水体保护和滨水功能合理发挥无关的构筑物。

灰线为滨水功能区的影响线，主要适用于城镇地区和风景区，可根据水体类别和规模确定，一般不宜突破城市主干道。滨江滨湖道路作为城市主干道的，其灰线范围可定位该主干道离江一侧一个街区，但不宜超过500m。一般河道两侧是否控制灰线可根据实际需要确定。灰线区域的建设必须满足滨水视线、生态交流的要求。

19.3.4 特征水位的确定

水系中河湖特征水位涉及到防汛、排涝、供水、航运、景观的要求。

1. 防汛特征水位

(1) 汛限水位。具有控制的水体（如圩垸内的水体、河湖、水库等），在汛期或暴雨发生前，为了保证水体具有足够的防洪调蓄库容，所控制的河湖最高水位称为汛限水位。

(2) 设防水位。一个地区堤防应有开始临水的标志性水位，当洪水到达该水位时，水利工程开始发挥作用。有关单位开始组织防汛工作，并准备好相应的防汛物资和器材，日常的管理工作进入防汛阶段。

(3) 警戒水位。洪水期堤防可能发生险情时的水位，是我国防汛部门规定的各江河堤防需要处于防守戒备状态的水位，到达该水位时防汛部门要加强戒备，密切注意水情、工情、险情发展变化，做好防洪抢险人力、物力的准备。警戒水位需防汛部门根据长期防汛抢险的规律、保护区重要性、河道洪水特性及堤防质量等有关因素，经分析研究并上报核定。

(4) 保证水位。保证水位又称最高水位或危险水位，它是根据防洪工程状况确定的可防御洪水的最高水位，是汛期堤防及其附属工程能保证安全运行的上限洪水位。当水位达到或接近保证水位时，防汛进入紧急状态，防汛部门要按照紧急防汛期的权限，采取各种必要措施，确保堤防等工程的安全，对于可能出现超过保证水位的工程抢护和人员安全做好积极准备。保证水位的拟定是根据堤防规划设计和河流曾经出现的最高水位或堤防设计洪水位，考虑上下游关系、干支流关系以及保护区的重要性制定的，并经上级主管机关批准。

（5）防汛特征水位按水位的高低顺序。保证水位＞警戒水位＞设防水位＞汛限水位。随着江河堤防工程质量提高和防汛能力加强，设防水位与警戒水位差别减小，目前一些水系已经不采用设防水位作为特征水位。

2. 实测特征水位

（1）历史最高水位。根据水位实测资料或水文调查资料得出的水位最高值。

（2）历史最低水位。根据水位实测资料或水文调查资料得出的水位最低值。

（3）多年平均水位。根据多年水位实测资料得出的平均值。

（4）常水位。河湖一年中大部分时间的平稳水位，对于水位不受控制的河湖，常水位具有一定的变幅。此时，常水位也可以用多年平均水位表达。对于内河水系，受水利工程控制，常水位可为定值。一般把常水位淹没面积定为水体的水面面积。

3. 设计水位

（1）设计洪水位。符合防洪标准的河湖设计水位。

（2）设计枯水位。符合供水保证率的河湖设计水位。

（3）通航水位。根据通航水深及通航保证率需求得出的设计水位。

此外，以调蓄功能为主的水体，其调蓄水深一般不应低于0.5m；以景观功能为主的水体，其水位变化不宜大于0.5m；养殖水体常水位时水深一般应大于1.5m。

19.3.5 水系布局

水系布局应根据水系分布特征，充分研究水体现状及历史演变规律，以现有水系框架为基础，结合城市总体规划布局，根据水资源综合规划对水系综合利用要求，建立合理的水系。在制定水系规划方案时一般要满足以下要求：

（1）水系布局应该与上一级涉水规划、国土规划、城市总体规划及其他已经批准的专项规划相协调，当与其他规划发生冲突时应进行调整，以保证水系规划的可行性。如果其他规划出现明显不合理内容时，必须经过非常充分的论证，并与该规划编制单位及主管部门协调同意后，才能做进一步的工作。

（2）对水系的规划改造必须经过充分的论证，规划水系的水面率不得小于治理和规划前的水面率。未经充分论证，不同水体间、不同区域间的水面积不能随意相互置换补偿。对于历史上大规模填埋水体造成水面率偏小地区，尤其是城市区域，应通过退田还河（湖）、退建还河（湖）、新开河湖等措施适当增加水面积。

（3）治理或规划后的水系应有利于防洪排涝的需要，可以在满足过水流量和调蓄库容需求前提下，根据水资源综合利用需求，适当调整江河港渠的断面和湖泊形态，最后通过防洪安全校核，保证水系布局满足地区防洪标准。

（4）规划水系尽可能保持水体的天然形态，鼓励采用生态湖泊，河道尽可能保持原有的深浅不一、宽窄不同的自然状态。对于沟渠填埋、河道改道、裁弯取直一定要慎重，不到非常情况不宜实施，以保持水系原有的生态和环境功能。

（5）水系布局要考虑骨干河道密度在地区的均匀，尽可能消除断头浜，保持河网的通畅性，可以在原有河道基础上进行清淤、拓宽和必要的调整，必要时根据需要增添一些连通性河道，要尽量避免横穿城市和村镇建筑密集区域，以减少拆迁量和保持社会安宁。

（6）河湖规模应该满足防洪、排涝、引水、供水、航运、水资源调蓄、水生态与水环

境保护、水景观和水旅游等涉水规划的综合要求，结合规划布设水利工程，通过水文水利计算，确定河道、湖泊的蓄水容积、断面形态和尺寸等。

（7）针对若干水系布局方案，从经济效益、社会效益、环境效益以及经济社会发展的长期效益，通过科学方法综合比较分析，得出推荐方案。

19.4 水系规划中的生态与景观设计理念

19.4.1 保护和恢复水系的生态功能

1. 生态对水系的要求

生态是指有生命的、适合生存的状态。一条完整的河道或河流包括河槽、河岸地、河滩地以及生长其中的鱼类、鸟类、各种哺乳动物和两栖动物以及植物。天然的河流具有河流生物多样性这一特征，天然河流的形态是河流生物多样性的基础，同时河流生物多样性又通过自我调控、自我修复的功能保持天然河流的洁净。天然河流的纵向蜿蜒性、河流横断面的多样性、河床及河岸的透水性使得河流具有多种多样的形态，因此也就具有生物的多种多样。

河道生态的第一层涵义是河床内流水水体生态，河床生态主要由河床内水生生物和它们的生境组成。河道生态的第二层涵义是河岸生态，河岸是水体与陆地的过渡地带，紧密连接了水体和陆地，是河道水体运动的外边界，是河道稳定的关键地带。河岸带由岸坡和其上生长的植被、小型哺乳动物、两栖类动物以及微生物构成。

2. 生态型河道的构建理念

合理的生态环境既要适合人类的生存，也要保持生物多样性。生态型河道的建设就是要以天然河道多样性为蓝本，在生态安全与和谐理念指导下，以修复受损河道为目的，通过生态河床和生态护岸等生态工程的技术手段，形成自然生态和谐，生态系统健康，安全稳定性高，生物多样性高，河道功能健全的非自然原生型河道，是通过河道结构上的生态工程建设来实现河道生态系统的持续健康发展。

生态型河道具有以下特征：①是生态工程构建的非自然原生型河道；②充分体现人与自然生态的和谐；③拥有多样化的物理形态和生物群落；④生态系统稳定和可持续发展；⑤具有满足人类社会合理要求的能力。

构建生态型河道，维持河道良好的生态系统，必须同时从河床、河岸生态层次考虑，通过生态河床和生态护岸的物理构建，达到生态意义上的良性健康状态。在构建生态河床和生态护岸的过程中，应坚持以下原则：

（1）河道安全原则。生态型河道的构建首先必须考虑河道的安全，河道的安全性是保障其生态系统健康和正常功能的基本前提。河道的安全主要包括河道物理结构上的稳定，对洪涝灾害的正常回应以及提供水源、容纳污染和维持生态等。

（2）河道和谐原则。生态型河道的构建应遵照河道受损前的生态状况，尽量做到与生态过程相协调。这种协调意味着设计应以尊重物种多样性、减少对资源的剥夺、保持营养和水循环、维持植物生境和动物栖息地的质量、有助于改善人居环境及生态系统的健康为总体原则。

3. 生态理念在水系规划中的应用

20世纪90年代，很多国家开始着手对水系进行生态方面的研究。人们对水系从污水截流、清淤、底泥处理、两岸绿化等方面进行整治，通过改造刚性材料堤防、修建生态型河堤和护岸等河道断面工程，复原河道的原有形态，对河道进行生态修复。生态理念在水系规划中的应用主要体现在以下几个方面：

(1) 尽量保持水系的自然特性，保护河道中及其周围原有的水生物和植物。河道中水生物的栖息、生长与河道中的水草植物是密切相关的。保护河道及其周围原有的植物，保护水生物的生存空间，有利于保护和改善水生态环境。

(2) 尽量采用复式断面或复合型断面型式，修建主槽与滩地相结合的断面形式。天然河道的大小形状多种多样，自然地维护着河道的水生态环境。河道断面型式尽可能不要设计成单一的矩形断面或梯形断面。单一断面型式使得河道过水流畅，但是改变了河道的水生态系统，缩小了河道中水生物的生长空间，不利于水生态环境保护。因此，在水系规划中应尽量选择复式断面或复合型断面型式，有条件的可在河中修建主槽，平时保证少量水体在主槽内流动；在滩地修建湿地或进行绿化，甚至可以提供人们休憩的场所，充分发挥水系河道的多项功能。

(3) 合理选择堤防、护岸和护底工程的材料。使用现浇混凝土、混凝土板、浆砌石等硬质护坡材料，容易阻断水和空气的交换；改用干砌石、卵石笼、大块石等更为通透的材料不仅可以防止水流的冲刷，还可在这些材料之间和表面覆土，促进植物的生长。通过选择有利于生物生长的天然工程材料，可以缓解河道断面工程对生态环境的不利影响，保护河道的水生态环境。

(4) 严格控制污染源，提高污水处理深度，减少流入河道中的污水，保护河道的水质，以保护和改善水生态环境。

19.4.2 注重水系的景观建设

1. 水系规划对景观的影响

水系在自然系统和社会系统具有多方面的功能，涉及多个领域，其中对生态景观的影响主要表现在以下几个方面：

(1) 堤防和护岸工程材料对生态景观的影响。传统的水利工程设计思想为了保证河道断面的安全性、抗冲刷强度和耐久性，材料多选择混凝土或钢筋混凝土等刚性材料。刚性材料相对于柔性材料有更高的抗冲刷性和耐久性，更能满足防洪排涝、航运的需求。但是刚性材料的铺砌缩小了河道两岸动植物的生存空间，降低了河道本身天然的自净能力，使水环境污染加剧。

(2) 堤防和护岸工程型式对生态景观的影响。河道本身具有天然的美感。经过人为整治之后，河道两岸生气勃勃的景象也被死气沉沉的混凝土等刚性材料的堤防和护岸工程所替代，极大地降低了河道的天然性和景观性；直立式堤防和整齐划一的石砌护岸，使河道水流速度加快，缓解了区域防洪、排涝的压力，然而却改变了天然条件下河道具有的自然形态和功能，削弱了自然美感；同时由于流速变快、堤防陡立，降低了河道的亲水性；堤防和护岸束缚了水流，防止河水漫滩，减少了占用土地的面积，但是却忽视了河滩地对于河道生态景观功能的重要性，导致河道两岸生态景观功能的退化。

（3）断面型式对生态景观的影响。根据防洪排涝、航运等功能的要求，河道断面宽度和深度必须满足设计洪水位时通过河道的洪水流量。然而在许多河道常年水位较低，遇到洪水时又会有较高洪水位，使得河道断面大部分时间里过水较少，浪费了河岸的土地资源，也对景观不利；同时单一的矩形、梯形断面虽然能够减少占用土地的面积，却降低了河道本身的亲水性。

2. 水系规划与景观的结合

水系功能之间的相互冲突主要体现在防洪排涝、航运和生态环境、景观功能。以往由于认识的局限性，河道仅仅注重防洪、排涝、治污、维护水源、航运等功能，河道断面多采用传统的工程措施，例如疏浚拓宽、裁弯取直、石砌护坡、修筑河堤等，从而使河道看上去顺直、整洁、干净，达到一种规则美。但是，单一形式河道中的水的流态相同，环境单调，缺乏天然水体生态景观的美感。在水系规划中可以通过以下几个方面来同时满足水系的生态景观的作用：

（1）河道的平面布置。在河道平面布置时，在满足防洪排涝基本要求的前提下，要尊重河道现状，尽量保证河道本身的自然弯曲，一般不要裁弯取直，力求河岸线不规则，河道横断面宽窄不一，有收有放，纵断面和横断面的坡度有缓有急；局部地区可以允许形成浅滩和深水，形成天然的“滞洪区”，这样不仅减轻了防洪排涝的压力，同时可以在不同的河段，营造适应不同植物、动物的生存条件，以促进优美景观的形成。

（2）河滩地的开发和利用。河滩地为营造河道景观提供了良好的空间，为游人和居民游憩创造了条件。通过合理的开发利用，河滩地能够提高河道的亲水性。河滩地的开发主要有浅水区的利用以及亲水平台。

1）浅水区的布置。根据河道本身的情况，在符合河流自然形态的前提下，为达到一定的景观效果，可以沿着河道两侧布置浅水区，形成松弛有度的水边线。

2）亲水平台布置。亲水平台的作用就是在河边布置一个供人类亲近水、观赏水、接触水的安全空间。通过在河道断面上布置亲水设施，可以提高河道的亲水性。亲水平台宜设在河道正常水位以上0.3～0.5m，平台上可种植草坪树木，布置人行小道、石凳，供人在正常水位时行走和休息，提高河道的亲水性。也可在平台上布置浅水区，供人戏水和玩耍。在亲水平台以上延伸至地面，布置成缓坡，用块石堆砌或以草皮护坡，也可在缓坡上布置台阶，正常水位时供游人行走至亲水平台，洪水期时参与防洪，消减波浪冲刷，有利于堤防保护和水生态环境改善，同时也给人回归自然的感觉，提高河道的景观功能。同时缓坡也给人亲近水的感觉，突出了河道的亲水性。

（3）河岸的绿化。对于河岸处的绿化，可以通过以下两点原则来考虑布置。

1）自然性原则。河岸的绿地布置包括堤防、护坡的绿地布置和河滩地的绿地布置。在柔性材料的护坡工程上布置绿地、适合当地土质气候的植被和灌木，不仅能够增强护坡的抗冲性，防止水土流失，同时绿地河道周围自然景观紧密地融合在一起，掩饰了堤防、护坡的人造工程特征。河滩地的绿地布置应与护坡、堤防的绿化紧密相连，使得堤内堤外连成一片，增强其自然性。河滩绿地中可以适当的布置一些小径，供人行走、游玩。

2）空间性原则。河岸的绿化应有高低起伏的空间划分，富有空间层次感，防止品种单一、布局单调规则，如花草的高低品种搭配，花草与灌木搭配，灌木与树木搭配等，以

形成自然生长的环境。

(4) 景观工程布置。河道断面的宽度往往要结合城市总体规划来确定。确定满足防洪排涝、航运功能的断面宽度以后，确定河道两侧建筑后退控制线，形成一定面积的管理带。管理带以植物造景为主，强调整体性，形成一条连续的绿色走廊。布置管理带的景观时应注意以下几点：第一，管理带的绿化要注意同河岸以内的绿化相结合，突出其连续自然性；第二，管理带应与附近的公路相结合，改善城市道路可及性，方便游人自由出入河道，沿河设计一条步行系统，街路与绿化带之间最好能够运用地形，形成一定的分割，减弱噪音干扰；第三，管理带的景观布置应尽量融入到河道周围景观中去，如公园等；第四，在具有历史、文化等景观的重点河段，可以布置城市广场、小游园，充分结合历史文化气息，大力发展水文化，满足游客、居民的日常休闲；第五，管理带土地利用性质，以居住、商业和公共设施为主，提高土地利用价值。

3. 防洪安全问题

水系对城市的防洪安全起到决定性作用，水系布局应该满足防洪规划的要求。在河道治理过程中，河道行洪标准应满足防洪要求；规划的河道过流断面不应减小，行洪水位不能抬高，不可随意更改河道堤线，挤占行洪河道。

在水系规划中涉及到河湖的人工景观建设，如亲水步道、亲水台阶、亲水广场、亲水绿道等滨水建筑物，以及观景台、人工岛等，这些景观设计除了考虑美学要求外，应研究对河道堤防安全的影响问题。因此，行洪河道上的综合开发，除了考虑景观建筑本身的防洪要求外，其布局应优化，以减少对堤防的影响。

复式断面的河道，除主槽外有较宽的河滩地，大水时将漫滩行洪。滩地上不允许建设阻水建筑物，但河滩地也不应随意挖除。有些河道由于主槽蓄水水面小，河道开发中为增大水面面积，可以切除河滩地，营造湖景，丰富水特色。从行洪过流断面上看，滩地切除后增加了过流面积，这是有利的一面；但从堤防安全上看，没有了滩地的保护，则增加了洪水对堤防的威胁。

第 20 章　区域防洪与水系规划实例分析

20.1　张家港市防洪计算

20.1.1　防洪规划的目的

针对张家港市洪涝灾害的发生原因和未来趋势，根据社会和经济发展的需求，提出适合张家港市的防洪标准，采用先进的水文水利方法，分析计算各防洪分区的设计洪水位，结合水资源、水环境、水景观、水运物流等规划，提出满足张家港市安全要求的防洪规划方案，为经济社会的发展和水资源一体化管理提供安全保障。

在规划条件下，张家港市水利工程和土地利用性质将发生较大的变化，水文变量的一致性受到显著影响，无法通过水位频率计算推求张家港市的设计水位。故利用现有较长时间系列的雨量资料，采用水文水利学模型由设计暴雨推求设计洪水位。

目前张家港市以南横套河、沙槽交界河为界，分为南北两个大水利分区。北部水利分区除西部局部区域外，属于沿江自排区，受武澄锡虞水系洪水影响较小；南部水利分区属武澄锡虞水系，除本身降雨外，武澄锡虞水系的洪水对南部河网水位有直接影响。因此，张家港市防洪规划设计暴雨计算区域必须考虑整个武澄锡虞区域。对武澄锡虞水系和张家港市历次特大暴雨和水位过程分析表明，对张家港市水位影响最显著的降雨时段是 3d 左右，因此，100 年一遇设计暴雨的控制时段取 1d、3d、7d。由设计雨量推求设计暴雨过程采用对典型暴雨的同频率放大方法，产流和坡面汇流计算采用平原河网地区先进和实用的水文水利学模型。

除当地降雨外，对张家港市河网洪水位有显著影响的因素还有前期河网水位、周边地区的产水与排水量、计算区域的水文边界条件等。本次规划采用太湖流域水文水力学模型计算规划工程条件下张家港市有关的水文边界条件。

20.1.2　防洪分区及规划目标

防洪分区主要是根据张家港市传统的分区、地形特点、水系分布、水利工程布局、洪水特性等因素划分。目的是根据各分区特点，在防洪分析和计算的基础上，制定科学、经济、合理的防洪工程措施和非工程措施，达到抵御 100 年一遇洪水的规划目标。

现状以南横套河、沙槽交界河为界，分为南部和北部两个水利片。

南部水利片地势较高，地面高程一般在 5.0m 以上，集水面积 312km^2，该区主要依靠自排通过张家港河、二干河、望虞河汇入长江。该片河道属武澄锡虞水系，洪水位主要受武澄锡虞水系的洪水、水利工程和防洪调度的影响。在近期和中期规划中，南部水利片主要依靠二干河、张家港河排水进入长江；在远期规划中，通过控制工程与武澄锡虞水系分开，二干河以东片依靠七干河排水入江，二干河以西片与北一片合并，通过北一片出江口门排水入江，使最高洪水位降低到 5.1m 左右，从而使南部大部分地区脱离武澄锡虞水

系，避免受武澄锡虞水系洪水不确定性的影响。

北部水利片为新沙自排区，集水面积 453km²，区内洪水依靠出江水闸排入长江。北部水利片又分为 4 个排水片和双山独立排水区（如图 20.1 所示），具体为：

（1）北一片。北一片为太字圩港以西地区，面积 68km²，南部地面高程较高，北部经过近几年的开发建设，地面高程已经抬升至 5.4m，仅极少数区域地面高程在 5.0m 以下。该片的防洪工程规划目标是使得地区的 100 年一遇洪水位不超过 5.0m，使得大部分地区地面高程在设计洪水位以上。在近期和中期规划中，该片涝水通过五节桥港闸、十字港闸、护漕港闸、太字圩港闸排水进入长江，在远期规划为排除南部水利片二干河以西区域的洪水。

（2）北二片。北二片为太字圩港与二干河之间区域，面积 153km²，地面高程在4.2～4.5m 以上。防洪工程规划目标主要是通过增大入江的排洪能力，使得 100 年一遇洪水位降低至 4.4m 以下。低洼区防洪工程措施以抬高地面为主。考虑到北二片沿南横套河地区地势比较低洼，本次规划对原有南北水利片进行微调，主要目的是将南部水利片新开发区的低洼地带纳入北部自排片，以降低该区域的最高洪水位，调整后的分区如图 20.1 所示。规划中涝水通过朝东圩港闸、渡泾港闸、段山港排水进入长江。

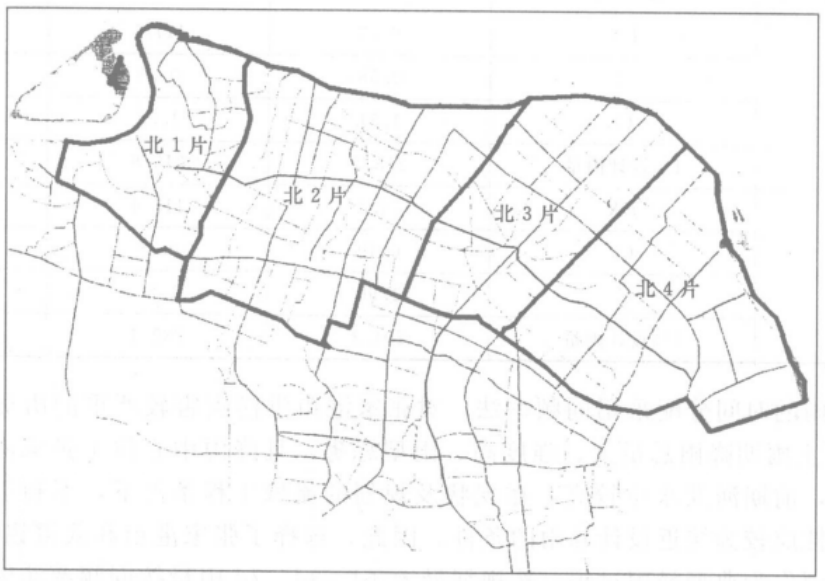


图 20.1　张家港市北部水系排水片示意图

（3）北三片。北三片为二干河与四干河之间区域，面积 101km²，地面高程多在 4.1～4.3m，存在局部低洼区。防洪工程规划目标主要是通过增大入江的排洪能力，使得 100 年一遇洪水位降低至 4.2m 以下。在规划中涝水通过常通港闸、十三圩港闸、三干河闸排水进入长江。

（4）北四片。北四片为四干河以东区域，面积 131km²，是张家港市的主要农业保留区域。该片地势低平，地面高程在 3.4～3.9m，是传统的圩区。防洪工程规划目标是增大入江的排洪能力，尽可能降低 100 年一遇洪水位。在规划中涝水通过五干河闸、六干河闸、农场河闸、常沙河闸排水进入长江。

(5) 双山岛片。双山岛片作为单独的防洪片，包括滩地在内，面积为 21km²，地面高程在 3.5～3.9m，主要作为生态保留区。在规划中涝水通过双山南闸、双山北闸排水进入长江，使得 20 年一遇洪水位在 3.6m 以下。如果不满足要求，再考虑增加排水泵站。

20.1.3 设计暴雨计算

张家港市选用 1965～2002 年日降雨量的平均值作为雨量频率计算的统计系列，统计出 1965～2002 年最大 1d、3d、7d 面平均雨量。

武澄锡虞地区选用 1951～1998 年日降雨量作为武澄锡虞区雨量系列。选择武澄锡虞区用于计算平均雨量的代表站雨量资料时，在考虑区内雨量站分布基本均匀前提下，优先采用建站年份较早且雨量系列较长测站的资料。对于测站相对较少年份，尤其是特大暴雨年份，进一步分析了平均雨量计算成果的可靠性和合理性，以保证频率计算结果的精度。

区域时段暴雨频率分布曲线的配线过程在计算机上实现。其中，时段雨量平均值按矩法估计，C_v 和 C_s 的初值按经验频率点据与 P—Ⅲ型理论曲线绝对离差和最小为准则得出，然后通过目估适当调整确定。结果见表 20.1。

表 20.1　　暴雨频率计算结果

区　域	参　数	1d	3d	7d
张家港市	EX	85.3	117.5	161.7
	C_v	0.58	0.50	0.45
	C_s	1.81	1.58	1.47
	1%设计雨量	258.7	315.8	402.7
武澄锡虞地区	EX	74.0	112.4	146.4
	C_v	0.49	0.45	0.43
	C_s	1.96	1.80	1.72
	1%设计雨量	204.2	289.4	363.6

设计暴雨的时间分配采用同频率法。对张家港市洪涝灾害较严重的历史暴雨分析表明，1991 年主雨期降雨总量大、强度高、雨型恶劣，且降雨中心位于张家港市周边地区和上游区域，前期河湖水位较高，在现状及规划的流域工程条件下，不利于张家港市防洪，降雨特性应较为接近设计暴雨的条件。因此，选择了张家港市和武澄锡虞区 1991 年汛期逐日降雨作为典型暴雨过程。按规划最大 1d、3d、7d 雨量按同频率法缩放至设计雨量，见表 20.2 和表 20.3。

表 20.2　　张家港市设计暴雨时程分配

最大 7d	典型暴雨（mm）	设计频率 1%		最大 7d	典型暴雨（mm）	设计频率 1%	
		缩放系数	设计暴雨（mm）			缩放系数	设计暴雨（mm）
1d	98.2	0.536	52.6	5d	5.7	1.013	5.8
2d	109.9	2.354	258.7	6d	4.1	1.013	4.2
3d	8.3	0.536	4.5	7d	18.6	1.013	18.8
4d	57.4	1.013	58.1	合计	302.2		402.7

表 20.3　　武澄锡虞区设计暴雨时程分配

最大 7d	典型暴雨（mm）	设计频率 1%		最大 7d	典型暴雨（mm）	设计频率 1%	
		缩放系数	设计暴雨（mm）			缩放系数	设计暴雨（mm）
1d	54.9	0.884	48.5	5d	11.2	0.846	9.5
2d	165.8	1.232	204.2	6d	8.3	0.846	7.0
3d	41.5	0.884	36.7	7d	13.7	0.846	11.6
4d	54.5	0.846	46.1	合计	349.9		363.6

武澄锡虞区设计暴雨过程计算主要是为了推求张家港市边界水文条件。7d 设计暴雨过程按典型 7d 暴雨对应时间嵌入 1991 年典型暴雨过程，可以综合考虑前期降雨和后期降雨对区域河网水位的影响。

张家港市设计暴雨计算涉及分析张家港市瞬时最高水位、防洪调度及水利工程规划设计等问题，需推求逐时设计暴雨过程。采用同倍比法按典型暴雨缩放得出的张家港市 7×24h 100 年一遇设计暴雨过程，如图 20.2 所示。

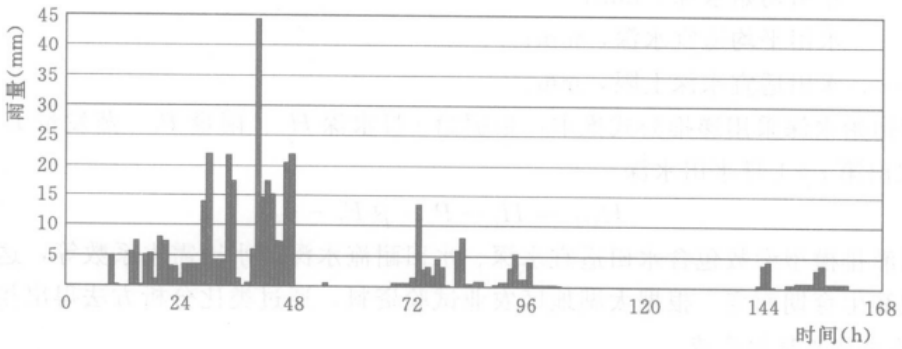


图 20.2　张家港市 7×24h 100 年一遇设计暴雨过程

20.1.4　产流计算

张家港市和武澄锡虞区属平原河网地区，下垫面可以分为四类：水面、水田、旱地与非耕地、城镇。根据各下垫面的特征及不同的产流规律，分别进行产流及坡面汇流计算。总产流量则为 4 种下垫面产流量之和。

1. 水面产流

按水量平衡方程由降雨扣除水面蒸发推求产水量，即

$$y_1 = P - \beta_1 E \tag{20.1}$$

式中　y_1——水面产流量，mm；

P——降雨量，mm；

E——蒸发器蒸发量，mm；

β_1——水面蒸发折算系数。

以 E—601 蒸发器日蒸发量观测值为基准，根据太湖流域东部平原地区蒸发试验资料，水面蒸发折算系数见表 20.4。

表 20.4　　太湖东部平原流域蒸发器折算系数

月份	1	2	3	4	5	6
系数	1.06	1.00	0.90	0.87	0.91	0.94
月份	7	8	9	10	11	12
系数	0.94	0.99	1.03	1.06	1.09	1.08

2. 水田产流

考虑水稻不同生长期的水田需水深度、耗水系数及灌排方式推求灌、排水量，计算公式为：

$$\begin{aligned} y_2 &= H + P - \beta_2 E - H_o \qquad H + P - \beta_2 E \leqslant H_o \\ y_2 &= 0 \qquad\qquad\qquad\qquad H_o < H + P - \beta_2 E < H_m \\ y_2 &= H + P - \beta_2 E - H_m \qquad H + P - \beta_2 E \geqslant H_m \end{aligned} \tag{20.2}$$

式中　y_2——水田产流量，mm；

β_2——水田蒸散发系数；

H——水田初始水深，mm；

H_o——水田平均适宜水深，mm；

H_m——水田适宜水深上限，mm。

水田初始水深采用递推公式推求，根据第 i 日水深 H_i、雨量 P_i、蒸发量 E_i，产流量 y_{2i}，推求出第 $i+1$ 日水田水深

$$H_{i+1} = H_i + P_i - \beta_2 E_i - y_{2i} \tag{20.3}$$

水田灌排模型参数包含水田适宜水深、水田耐淹水深、水田需水系数等，这些参数随水稻类型和生育期而变，根据太湖地区农业试验资料，通过类比分析方法得出相关参数。

3. 旱地及非耕地产流

太湖流域属湿润地区，根据近年来太湖流域水利、交通、环保部门和河海大学的大量科学研究和生产实践的成果，采用新安江三水源模型推求旱地产流量。

4. 城镇产流

城镇区域划分为不透水面积和透水面积两部分，分别计算产流量。不透水面积由降雨扣除洼地蓄水量及雨间蒸发量，剩余部分全部为地表径流；透水面积按新安江模型计算产流量。

由 100 年一遇逐时设计暴雨，按现状、近期、中期各分区规划条件下的土地利用性质，按产流和坡面汇流模型分别进行产流计算，得出逐时进入河网的径流过程。远期规划产流计算按中期规划条件的水面面积不变，城镇面积扩大 10%推求。

20.1.5　水利计算

1. 水利计算模型

(1) 明渠水流方程。描述水流在明渠中运动的一维非恒定流基本方程是基于圣维南方程组，包括连续方程和动力方程：

$$B_T \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \tag{20.4}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{Q^2}{A}\right)+gA\frac{\partial Z}{\partial x}+gA\frac{|Q|Q}{K^2}=0 \tag{20.5}$$

（2）节点方程。

$$\frac{\partial H}{\partial t}=\frac{\sum Q_t}{S_t} \tag{20.6}$$

（3）水闸出流方程。

自由出流：

$$Q=mB\sqrt{2g}(Z_u-Z_d)^{3/2} \tag{20.7}$$

淹没出流：

$$Q=\varphi B\sqrt{2g}H_s\sqrt{Z_u-Z_d} \tag{20.8}$$

2. 模型参数分析与率定

水文水利模型首先对河网进行概化，河网概化遵循综合考虑防洪排涝与调水改善水环境的原则，既考虑现状工程，又考虑到各阶段规划的河道及水利工程布设，使模型具有可扩展性。在概化过程中侧重考虑对水流输送占主导作用的市级河道、镇级河道以及少数对沟通水系比较重要的村级河道，对于一些较小河道或断头浜等未进入概化水系的河道，不考虑其输水能力，仅考虑其调蓄功能。

（1）河道长度。根据张家港市水系电子地图，利用地理信息系统的功能量算。

（2）断面面积。对于现状主要排水河道，根据实测或设计河道断面图量算，一般概化为梯形断面。

（3）陆域宽度。根据张家港市水系电子地图，利用地理信息系统的功能量算得单位长度的平均汇流面积作为陆域宽度。

（4）糙率。主要河道糙率根据实测的河道水位、流量资料进行率定取值，一般取值为0.020～0.025。其他河道通过类比分析得出。

（5）水闸出流系数。水闸出流系数根据实测的闸前水位、长江潮位、引排水流量同步资料进行率定取值。

（6）调蓄库容。根据各镇现有河道资料和水面面积调查统计资料分析得出。

（7）水闸特性。对于比较重要的出江水闸及其他水闸特性，主要根据张家港市水利局现有工程设计资料得出；对于缺乏资料的小闸，通过实地调查得出。

3. 边界条件

边界条件主要以张家港河和望虞河沿河水位为控制边界，采用太湖流域水文动力模型HOHY2，武澄锡虞区按100年一遇暴雨，太湖流域其他区域按1991年实测暴雨，根据太湖流域水利工程规定调度方式模拟计算得出。

对于100年一遇设计暴雨条件下防洪计算，潮位边界条件采用1991年张家港市沿江闸边界实际逐时潮位过程。

根据1991年江阴市萧山站、常熟市浒浦闸长江逐潮高低潮位资料，插补推求1991年张家港市沿江闸边界逐时潮位过程，基本方法是根据各闸地理位置内插逐潮高低潮位及相应潮时。

利用沿江三个闸实测逐时潮位资料，推求并综合得出无因次潮位单位线，并配以数学

方程。

涨潮过程曲线方程：

$$Z(t) = 4.3858t^4 - 10.091t^3 + 6.4208t^2 - 0.2988t - 0.0079 \quad (20.9)$$

落潮过程曲线方程：

$$Z(t) = 0.4565t^3 - 0.1975t^2 - 1.2658t + 1.0104 \quad (20.10)$$

根据沿江各涵闸逐潮高低潮位及潮时，利用涨落潮无因次单位线，分别内插出涨落潮过程中的整点时刻潮位。

4. 防洪控制调度方式

根据长江潮位由西向东逐渐低落和圩区高程西高东低的特点，确定沿江各自排片不同的排涝控制水位。其中，太字圩港以西自排片3.4m，一干河至二干河自排片3.2m，二干河至四干河自排片3.0m，四干河以东自排片2.8m。河道水位超过控制水位时，出江水闸开闸排水；当内河水位低于各区控制水位时，水闸关闭以保证内河具有一定的水位。在遭遇特大暴雨情况下，出江水闸在闸内水位高于长江潮位时按水闸设计能力向长江排除涝水，张家港市内河警戒水位为3.4m，危险水位为3.6m；当张家港市内河水位达危险水位时，应开足区域排水能力，使得水位降低至控制水位。

在遭遇特大暴雨排水期间，张家港市南北水利片分界水闸全部关闭；北部各分排水片分界的控制水闸全部关闭，即各排水控制片间不考虑水量交换。

二干河、张家港河及相应水闸属武澄锡虞地区排水河道，不参与沿江自排区的排水。望虞河作为太湖流域专用排水和引水通道，除张家港河外，沿线封闭。一干河、四干河作为主要清水通道，不参加防洪。

南部水利片的水系与武澄锡虞水系相通，近期及中期规划方案中无水闸控制；考虑到太湖流域规划中望虞河高水行洪后，影响到张家港南部水利片的排水，远期规划中，在遭遇大暴雨、武澄锡虞区水位较高时，南部水利片通过控制水闸关闭与武澄锡虞水系分开，二干河以东片依靠七干河排水入江，二干河以西片通过北一片排水入江。

20.1.6 计算结果及分析

根据模型计算得出现状及近、中、远期水平年土地利用、水利工程及调度方式条件下，100年一遇各典型河道断面最高水位见表20.5。

表20.5　　现状河网条件100年一遇各河道最高水位　　单位：m

河　名	断面号	水利片	现状洪水位	近期洪水位	中期洪水位	远期洪水位
新沙河	NH1087	南片	5.38	5.46	5.43	5.18
新丰河	NH296	南片	5.42	5.45	5.42	5.19
奚浦塘	NH581	南片	5.43	5.46	5.43	5.24
华妙河	NH565	南片	5.41	5.42	5.42	5.21
盐铁塘	NH835	南片	5.37	5.46	5.43	5.21
新西河	NH1116	南片	5.40	5.44	5.41	5.28
四干河	NH575	南片	5.43	5.47	5.43	5.12
南横套河	NH225	南片	5.34	5.35	5.34	5.12

续表

河　名	断面号	水利片	现状洪水位	近期洪水位	中期洪水位	远期洪水位
二干河	NH335	南片	5.41	5.46	5.43	4.94
东横河	NH284	南片	5.27	5.43	5.40	5.12
新泗港河	NH237	南片	5.27	5.43	5.40	5.12
天生港	NH794	北一片	5.04	4.70	4.73	4.95
十字港	NH875	北一片	5.04	4.70	4.73	4.92
迎丰港	NH909	北二片	4.74	4.26	4.29	4.29
朝东圩港	NH965	北二片	4.75	4.26	4.28	4.28
新丰港	NH928	北二片	4.76	4.26	4.28	4.28
常通港	NH784	北三片	4.44	4.27	4.30	4.30
四干河	NH763	北三片	4.45	4.16	4.13	4.13
三干河	NH441	北三片	4.45	4.22	4.13	4.13
泗兴支港	NH1281	北四片	4.57	4.23	4.13	4.13
六干河	NH490	北四片	4.57	4.08	4.04	4.04
五干河	NH465	北四片	4.57	4.08	4.04	4.04
七干河	NH658	北四片	4.57	4.08	4.04	4.04
北中心河	NH938	北四片	4.57	4.08	4.04	4.04
永南河	NH480	北四片	4.57	4.08	4.04	4.04

计算结果表明，按现状条件，北部水利片平均最高水位显著低于南部水利片，其中北一片为5.04m，北二片为4.76m，北三片为4.45m，北四片为4.57m。由于北部水利片是独立自排区，基本不受武澄锡虞水系高水位的影响，在近期水利工程规划方案实施后，显著降低了北部水利片的分片水位，平均最高水位北一片为4.70m，北二片为4.27m，北三片为4.23m，北四片为4.08m。而中期河网工程相对较少，最高洪水位与近期相差不多。

南部水利片属武澄锡虞水系，当地水利工程对最高洪水位的影响甚微。在现状或近、中水平年，最高洪水位均在5.40m以上。

远期规划中防洪方案提出通过建控制闸与武澄锡虞水系分开，建立自排区。二干河以西区域与北一片合并由张家港、五节桥港、十字港、护槽港、太字港作为主要的排水通道。二干河以东区域单独作为自排区，以七干河作为主要排水通道。计算结果表明，南部水利片最高洪水位显著降低，其中，南部水利片西区降低至5.12m，降低了30cm左右；南部水利片东区降低到5.28m，降低了17cm左右。但是北一片由于要承担南部水利片西区排水任务，水位升高20cm，但不超过北一片的地面控制高程。

20.2　太仓市骨干河网规划

20.2.1　水系现状和存在问题

太仓市位于太湖流域东部平原河网区，境内河流稠密，塘浦纵横交织，湖荡众多，属于典型的江南水乡。全市水域面积285.9km²，其中长江水域面积173.9km²，内陆水域面

积 112km²。现有村级以上河道 1500 余条，总长 2100 多 km，河道基本可以分为四级。

第一级是区域性河道，即浏河、杨林塘、七浦塘、盐铁塘等 4 条，总长度 100.74km，也是苏州市重要引排水河道及骨干航道，在苏州市和太仓市的水资源、水环境及防洪排涝中起着非常重要的作用。河道的管理和水利调度权主要属于苏州市水务局。

第二级是太仓市市管河道，包括钱泾、荡茜、鹿鸣泾、浪港、茜泾、吴塘、半泾、十八港、石头塘、随塘河、白迷泾、新泾 12 条河道，总长度 176.16km，河道宽度为 30～50m，主要担负太仓市的引排水及水系沟通作用，是太仓市引排水的骨干河道，河道的管理和水利调度权属于太仓市水务局。太仓市境内区域性河道及市管河道及区域性河道如图 20.3 所示。



图 20.3　太仓市区域和市管河道现状图

第三级是镇级河道，共 143 条，河道宽度多在 20m 左右，总长度 422.23km。主要起着区域水系沟通和引排水作用。

第四级是重要村级河道，根据本次规划阶段对现状村级河道进行的统计，比较重要的村级河道共 1321 条，总长度 1312.10km。大部分村级河道的断面尺寸较小，有些河道仅仅几米宽，主要作用是将农村居住区及农田的涝水排入骨干河网，以及从骨干河网引水灌溉。

目前，太仓市水系的主要存在问题包括：

（1）作为骨干河道的区域性河道和市管河道（图 20.3）在全市范围内分布不均匀，连通性不好，而镇级河道规模偏小，不能够构成一个覆盖全市的骨干性河网，从而有效地担负全市各区域的引排水任务。

（2）近年来，为了满足地区工业发展和水环境改善的要求，太仓市和阳澄淀泖区从长江引水任务增加，长江泥沙不断进入内河；与此同时，区内排入河道的污水逐年增加，使得河道淤积严重，影响了河道的通畅性，也显著减小了河网的调蓄能力。

（3）随着太仓市经济的迅速发展，人类活动对水系影响显著，尤其是城厢、港城等开发区规划建设，改变了原有的水系。与此同时，发展过程中填埋河道、侵占水域现象显著，造成城市地区水面率不足，调蓄能力减小，影响到当地的防洪排涝和水环境、水景观。

（4）按太仓市现有水系，市管河道的通江口门均位于北部地区，而南部在浏河与杨林塘之间缺乏通江河道，不利于太仓市南部地区未来引排水需求。

（5）太仓市多年来由于缺乏对水系的规划，河道功能定位不明确，河道管理权分散，使得对河道管理执法缺乏依据，造成很多现行和潜在问题。

（6）太仓市水系主要是河道组成，缺乏生态型湖泊，使得水系的生态景观功能和水源储蓄功能受到影响。

20.2.2 骨干河网布局及河道功能划分

河道规划的核心是建立一个适合于水资源综合规划要求的骨干河网，从而有利于太仓市水资源的合理开发、利用、保护和管理。

通过对现状水系调研和存在问题的分析，根据水系规划的基本原则，太仓市骨干河网的主要基础是区域性河道、市管河道、部分镇级河道和少数重要的村级河道。通过对这些河道规划，主要包括河道清淤、断面扩大、护岸建设、河道景观建设等工程措施，组成太仓市骨干河网。在骨干河网中，除区域性河道外，其他河道均属市管河道，管理权统归太仓市水务局。

在骨干河网中，浏河、杨林塘、七浦塘、盐铁塘为区域性河道，河道的规模尺寸原则上按阳澄淀泖区域水系规划的尺寸实施。

骨干河网包括现有 12 条市管河道，即钱泾、荡茜、鹿鸣泾、浪港、茜泾、吴塘、半泾、十八港、石头塘、随塘河、白迷泾、新泾，河道的规模按其功能要求、未来发展需求、当地土地利用条件进行整治和调整，河道两侧需设置或完善绿化带和防汛通道。

骨干河网中需上升为市级河道的现有镇级河道包括封张塘、陈泾、关王塘、双纲河、奚心泾、季泾塘、芦沟河、娄江、南横沥河、北横沥河、孔泾河、横沥河、江申泾、界河、戴浦河、直北沟、南六尺河、马路塘（浏家港镇）、北米场、南米场、双沟、向阳河、陆窑塘、五号河、洙泾河、汤泾河、马路塘（浏河镇）、湖川塘、老洙泾 29 条。由于镇级河道规模小于市管河道，其断面尺寸相对较小，作为骨干河道，必须扩大河道规模，设置两岸绿化带和防汛通道。

由于市级和镇级以上河道本身分布的不均匀性，在农业区虽然河道众多，水面率较高，但镇级以上河道相对较少，不能形成南北或东西贯通的河道，难以组成一个具有均匀

性和通畅性的骨干河网。为了建立一个经纬性的太仓市骨干河网，必须以一些村级河道为基础，开挖成骨干河道。同时，为了减少开挖量、侵占土地量和开挖公路，应充分利用原有河道。

考虑到浏河与杨林塘之间缺乏通江河道，且浏河及杨林塘又属区域性河道，调度权在苏州市水利局，其运行方式必须满足阳澄淀泖区水利需求。从太仓市水利发展和社会长久需求的战略高度出发，在浏河与杨林塘之间，以原有河道为基础，新开通两条通江河道。在两条河道路径上新开挖的河段主要在太仓市中部地区，不经过重要市镇，但需跨越沪浮璜公路。

在河道规划中，城厢区和港城区的河道主要依据两个开发区规划中河道规划方案，但对其尺寸和工程布设将根据骨干河网规划的要求进行适当调整。

石头塘北部南北向河道与江岸线不平行，与东西向河道及高速公路斜交，且南北向无一条贯穿性河道。考虑到浏河、杨林塘、七浦塘三大区域性河道两侧水系具有相对的独立性，规划在东西向骨干河道之间各选择一些重要镇级河道，分段连通南北河道。

根据以上规划，骨干河道总长度468km，其中包括区域河道4条，100.74km；市级河道11条，153.66km；镇级河道29条，137.28km；村级河道10条，32.97km；新开河12段，43.31km。太仓市基本形成9横（东西向）9纵（南北向）的骨干河网格局，如图20.4所示。

横向（东西向）9条骨干河道基本情况和规划依据，按河道地理位置自南向北介绍：

（1）浏河。太昆边界—沿浏河—浏河口，总长度24.6km，是阳澄淀泖区最大引排河道和通江航道。

（2）致和塘—汤泾河。吴塘—沿致和塘—沿界河—沿老洙泾—沿洙泾河—沿新开河9—沿五号河—沿汤泾河—浏河口，总长度28.9km；是为了增加南部通江河道的战略考虑而设定。现汤泾河口已有水闸通浏河口，可以通过对现有水闸改造实施。困难在于需新开挖河道横穿沪浮璜公路。

（3）湖川塘—陆窑塘。吴塘口—沿湖川塘—沿新开河2—沿陆窑塘—沿新开河1—长江，总长度26.7km。也是为了增加南部通江河道的战略考虑而设定。需新建一座通江水闸，且新开挖河道横穿沪浮璜公路。

（4）杨林塘。太昆边界—沿杨林塘—杨林口，总长度26.2km；是阳澄淀泖区重要的引清水河道、泄洪通道，太仓港的主要内陆航道。

（5）茜泾—徐泾。吴塘—沿徐泾—沿姚泾—沿三仓河—沿东横沥—沿缪泾—沿茜泾—随塘河，总长度26.8km；主要是为了增加杨林塘和七浦塘之间由太仓市控制的骨干河道。

（6）七浦塘。常太边界—沿七浦塘—七丫口，总长度25.9km，是阳澄区重要的引排河道和通江航道。

（7）浪港。盐铁塘—沿迷泾—沿浪港—浪港口，长度19.3km，规划为北部地区重要的引清水河道。

（8）荡茜河。石头塘—沿荡茜河（取直）—荡茜口，总长度10.9km；北部地区重要的市级通江引排河道，也是交通部门规划建设的北部通江航道。

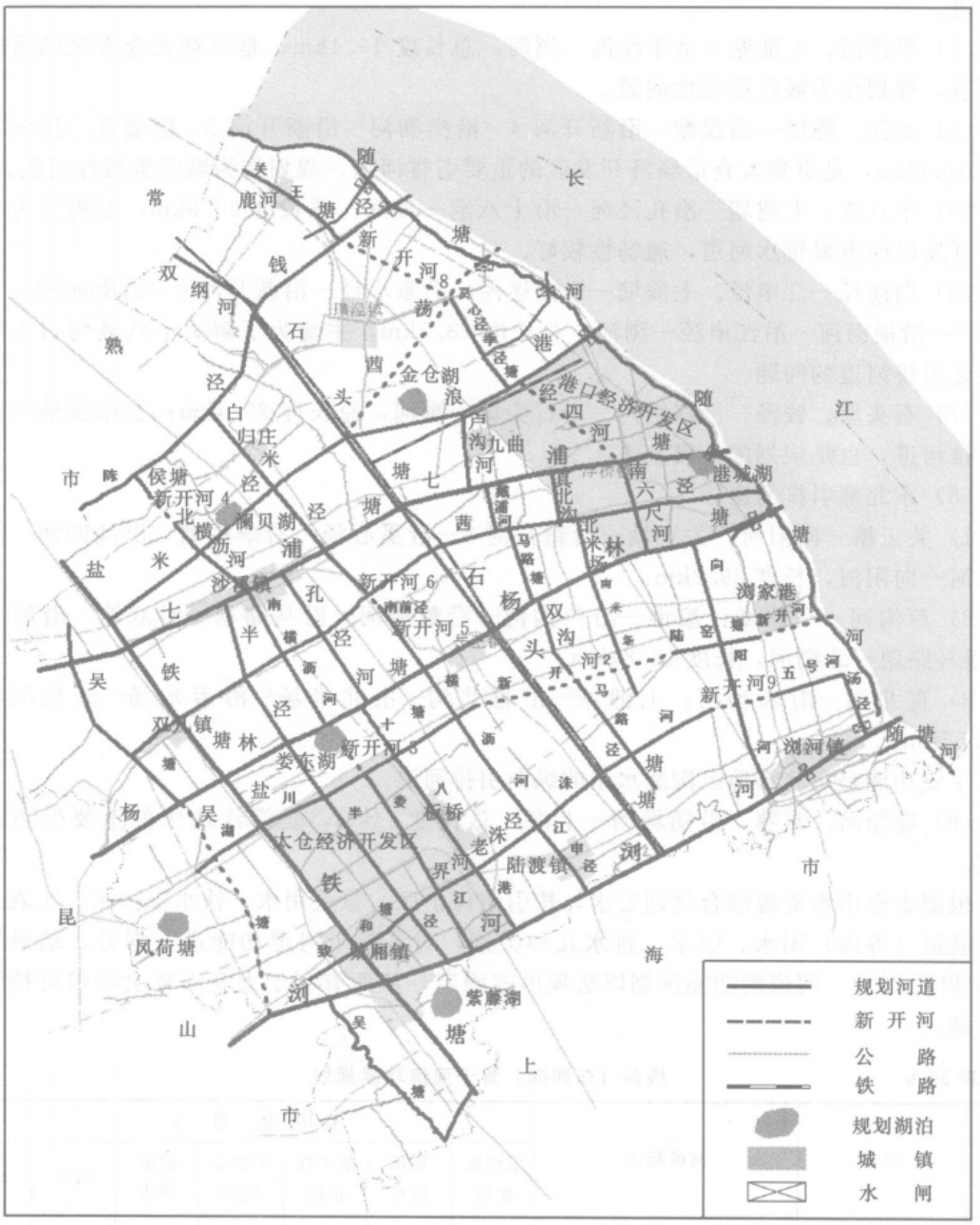


图 20.4　太仓市规划骨干河网

（9）陈泾—钱泾：太常边界—沿陈泾—沿封张塘—沿钱泾—钱泾口，总长度17.9km。利用钱泾闸设立的北部地区河道，弥补该地区骨干河道不足的状况。

纵向（南北向）9条骨干河道基本情况和规划依据，按河道地理位置自西向东介绍：

（1）吴塘。太常边界—沿吴塘北段—沿吴塘南段（取直）—浏河—太沪边界，总长度17.0km，是西部圩区与半高地的界河，杨林塘—浏河段为规划的5～6级航道。

（2）盐铁塘。常太边界—沿盐铁塘—葛隆，总长度24.0km，是贯穿阳澄淀泖区的6

级航道。

（3）半泾河。七浦塘—沿半泾河—浏河，总长度16.4km，是贯穿太仓市区的重要引排河道，规划作为城区景观性河道。

（4）娄江。陈泾—沿侯塘—沿新开河4—沿横沥河—沿新开河3—沿娄江—浏河，总长度19.0km，是贯穿太仓市经济开发区的重要引排河道，规划作为城区景观性河道。

（5）十八港。七浦塘—沿孔泾河—沿十八港—浏河，总长度20.9km，是贯穿太仓市经济开发区的重要排水河道，通畅性较好。

（6）白迷泾—江申泾。七浦塘—沿白迷泾—沿东小泾—沿新开河6—沿南前泾—沿新开河5—沿横沥河—沿江申泾—浏河，总长度23.5km，主要为了解决十八港与石头塘之间缺乏引排河道的问题。

（7）石头塘。钱泾—沿双纲河—沿石头塘—浏河，总长度27.3km；是东部地区的重要引排河道，也是规划的6级航道。

（8）东北部引排河道。

1）关王塘—向阳河。关王塘—沿新开河8—沿奚心泾—沿季泾塘—沿经四河—沿南六尺河—向阳河，长度29.2km。

2）芦沟河—马路塘：浪港—沿芦沟河—沿戴浦河—沿马路塘—沿双沟—沿新开河7—沿马路塘—北浏河，长度15.84km。

3）直北沟—南米场河：七浦塘—沿直北沟—沿北米场—沿南米场—洙泾河，长度7.55km。

主要功能是东北部地区沟通水系的纵向引排河道。

（9）随塘河。常熟—沿随塘河—上海，总长度44km，是沿江地区的重要生态景观河道。

根据太仓市水资源综合规划要求，按引清保护区、景观用水、饮水保护区、工农业用水、航道（等内）用水、引水、排水几种类别，对各骨干河道功能进行划分，结果见表20.6和表20.7。河道的功能区划以法规形式确定，从而有利于太仓市社会经济可持续长期发展。

表20.6　　横向（东西向）骨干河道功能规划

代码	河名	河道起止	功能划分						
			引清保护区	景观用水	饮水保护区	工农业用水	航道用水	引水	排水
H1	浏河	长江—太昆边界	√	√		√	√	√	√
H2	汤泾河	浏河—五号河				√		√	√
	五号河	随塘河—新开河9				√		√	√
	新开河9	五号河—洙泾河				√		√	√
	洙泾河	新开河9—陆渡交界				√		√	√
	老洙泾	浏河交界—十八港				√		√	√
	界河	十八港—娄江				√		√	√
	致和塘	娄江—吴塘		√		√		√	√

续表

代码	河名	河道起止	功能划分						
			引清保护区	景观用水	饮水保护区	工农业用水	航道用水	引水	排水
H3	新开河 1	长江—陆窑塘	√	√		√		√	√
	陆窑塘	新开河 2—蔡家浜	√			√		√	√
	新开河 2	蔡家浜—石头塘	√	√		√		√	√
	湖川塘	石头塘—吴塘	√	√		√		√	√
H4	杨林塘	长江—太昆边界	√	√		√	√	√	√
H5	茜泾	随塘河—石头塘				√			√
	缪泾	石头塘—东横沥				√			√
	东横沥	缪泾—三仓河		√		√			√
	三仓河	东横沥—孔泾河				√			√
	姚泾	孔泾河—南横沥				√			√
	徐泾	南横沥—吴塘				√			√
H6	七浦塘	长江—太昆边界		√		√	√	√	√
H7	鹿鸣泾	长江—奚心泾				√	√	√	√
	浪港	长江—白迷泾	√		√	√		√	
	米泾	白迷泾—盐铁塘	√		√	√		√	
H8	荡茜（改道）	长江—盐铁塘				√	√	√	√
H9	新泾	长江—鹿河镇				√	√	√	√
	钱泾	长江—封张塘				√	√	√	√
	封张塘	钱泾—陈泾				√	√	√	√
	陈泾	封张塘—太昆边界				√	√	√	√

表 20.7　　纵向（南北向）骨干河道功能规划

代码	河名	河道起止	水功能划分						
			引清保护区	景观	饮水保护区	工农业用水	航道	引水	排水
Z1	吴塘（北段）	太常边界—杨林塘				√			√
	吴塘（南段）	杨林塘—浏河				√	√		√
		浏河—太沪边界				√	√		√
Z2	盐铁塘	太常边界—杨林塘				√	√		√
		杨林塘—太沪边界		√		√			√
Z3	半泾河	七浦塘—浏河		√		√			√
Z4	娄江	浏河—湖川塘		√		√			√
	新开河 3	湖川塘—杨林塘		√		√			√
	南横沥河	杨林塘—七浦塘		√		√			√

续表

代码	河名	河道起止	水功能划分						
			引清保护区	景观	饮水保护区	工农业用水	航道	引水	排水
Z4	北横沥河	七浦塘—渠泾		√		√			√
	新开河 4	渠泾—侯塘		√		√			√
	侯塘	新开河 4—陈泾				√			√
Z5	十八港	浏河—杨林塘				√	√		√
	孔泾河	杨林塘—七浦塘				√			√
Z6	江申泾	浏河—陆窑塘				√			√
	横沥河	陆窑塘—鹿河岳王长桥公路		√		√			√
	新开河 5	鹿河岳王长桥公路—杜漕河		√		√			√
	南前泾	杜漕河—横泥泾				√			√
	新开河 6	横泥泾—东界泾		√		√			√
	东小泾	东界泾—七浦塘				√			√
	白迷泾	七浦塘—陈泾				√			√
Z7	石头塘	浏河—钱泾				√	√		√
	双纲河	市边界—钱泾				√			√
Z8	芦沟河	浪港—七浦塘				√			√
	戴浦河	七浦塘—茜泾				√			√
	马路塘	茜泾—杨林塘				√			√
	双沟	杨林—新开河 7				√			√
	新开河 7	双沟—大泾		√		√			√
	马路塘	塘泾河—北浏河				√			√
	直北沟	七浦塘—茜泾				√			√
	北米场	茜泾—杨林塘				√			√
	南米场	杨林塘—洙泾河				√			√
	关王塘	连浦塘—钱泾				√			√
	新开河 8	钱泾—荡茜		√		√			√
	奚心泾	荡茜—鹿鸣泾				√			√
	季泾塘	鹿鸣泾—浪港				√			√
	经四河（新）	浪港—七浦塘				√			√
	南六尺河	七浦塘—杨林塘				√			√
	向阳河	杨林塘—浏河				√			√
Z9	随塘河	常熟—上海		√		√			√

20.2.3 河道断面及控制蓝线

根据太仓市水资源综合规划要求，从河道水资源引水、防洪排涝、水环境改善、生态蓄水、水景观要求等方面综合考虑，经水文水力分析计算，确定骨干河网的规模、断面尺寸和工程建设时间。根据《中华人民共和国防洪法》、《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国河道管理条例》、《苏州市河道管理条例》、《太仓市城市规划若干强制性内容的暂行规定（试行）》（太政发［2003］131号）等法律法规，对规划河道两侧设立控制宽度，未经水利主管部门批准，在控制范围内不得建立永久建筑物，不得从事各类不利于河道水资源功能的活动。河道两侧需设立绿化带及防汛抢险通道，以保护堤岸，美化环境，减少面源污染。绿化带及防汛抢险通道包含在控制宽度之内。结果见表20.8和表20.9。

表20.8　　横向（东西向）骨干河道断面规划

代码	河名	现状			规划				
		河长（km）	河底高程（m）	河口宽（m）	河长（km）	河底高程（m）	河口宽（m）	每侧绿化带宽（m）	总控制宽（m）
H1	浏河	24.6	−2.5～−2.0	135～230	24.6	−2.5～−2.0	135～230	50	235～330
H2	汤泾河	3.05	1.2	21	3.05	0	50	50	150
	五号河	2.4	0.8	19	2.4	0	40	20	70
	新开河9	—	—	—	2.4	0	40	20	70
	洙泾河	4.89	1.90	18	4.89	0	40	20	70
	老洙泾	7.2	1.9	18	7.2	0	40	20	70
	界河	1.5	1.5	14	1.5	0	40	20	70
	致和塘	7.4		6	7.4	0	40	20	70
H3	新开河1	—	—	—	2.4	0	50	50	150
	陆窑塘	3.3	1.8	18～22	3.3	0	50	50	150
	新开河2	—	—	—	7.5	0	40	20	70
	湖川塘	16.7	1.1～1.6	30	13.5	0	40	20	70
H4	杨林塘	26.2	−0.5～−1.0	58−118	26.2	−1.0	120	50	220
H5	茜泾	13.5	0.5	15～20	13.5	0	40	15	70
	缪泾	3.67	2.0	16	3.67	0	40	15	70
	东横沥	0.45	1.5	20	0.45	0	40	15	70
	三仓河	1.4	1.5	21	1.4	0	40	15	70
	姚泾	1.2	1.7	20	1.2	0	40	15	70
	徐泾	6.6	1.2～1.5	17～23	6.6	0	40	15	70
H6	七浦塘	25.9	−0.5～−2.8	40−120	25.9	−0.5～−2.8	40～120	40	140～220
H7	浪港	11.2	0.5～1.5	30～50	11.2	−0.5	50	30	100
	鹿鸣泾	4.2	0.7～1.0	26～40	4.2	−0.5	40	20	90
H8	荡茜	—	—	—	10.9	−0.5	50	30	100
	米泾	8.1	1.6	22	8.1	0	50	15	80

续表

代码	河名	现状			规划				
		河长（km）	河底高程（m）	河口宽（m）	河长（km）	河底高程（m）	河口宽（m）	每侧绿化带宽（m）	总控制宽（m）
H9	新泾	6.0	0.5	30	6.0	0	40	20	90
	钱泾	8.8	−0.5～0.9	32	8.8	−0.5	40	20	90
	封张塘	9.6	0.4	20	0.9	0	40	15	70
	陈泾	8.2	0.8	20	8.2	0	40	15	70

表 20.9　　纵向（南北向）骨干河道断面规划

代码	河名	现状			规划				
		河长（km）	河底高程（m）	河口宽（m）	河长（km）	河底高程（m）	河口宽（m）	每侧绿化带宽（m）	总控制宽（m）
Z1	吴塘（北段）	7.7	−0.1～0.8	30	7.7	−0.5	30	20	60
	吴塘（中段）	8.5	−0.1～0.8	30	8.5	−1.0	80	50	180
	吴塘（南段）	6.0	−0.1～0.8	30	6.0	−1.0	60	30	110
Z2	盐铁塘	24.05	0.5	40～50	24.05	0	50	20	100
Z3	半泾	16.43	0～1.6	15～25	16.43	0	30	20	60
Z4	娄江	7.3	0～1.6	20	7.3	0	30	20	60
	新开河 3	—	—	—	2.5	0	30	15	60
	南横沥河	6.0	1.9～2.1	20	6.0	0	30	15	60
	北横沥河	3.8	1.0	20	3.8	0	30	15	60
	新开河 4	—	—	—	1.44	0	30	15	60
	侯塘	0.95	1	15	0.95	0	30	15	60
Z5	十八港	15.2	0.2～0.9	20～25	15.2	0	40	15	70
	孔泾河	5.7	1.7	20	5.7	0	40	15	70
Z6	江申泾	3.0	2.1	20	3.0	0	40	15	70
	横沥河	9.3	1.8～2.1	20	9.3	0	40	15	70
	新开河 5	—	—	—	0.2	0	40	15	70
	南前泾	1.2	2.0	18	1.2	0	40	15	70
	新开河 6	—	—	—	0.8	0	40	15	70
	东小泾	2.0	1.8	18	2.0	0	40	15	70
	白迷泾	7.0	1.0～1.2	25	7.0	0	40	15	70
Z7	石头塘	24.3	0.1～0.9	33～38	24.3	−0.5	60	40	90
	双纲河	3.5	0.8	18	3.5	0.5	30	15	60
Z8	芦沟河	3.0	1.5	20	3.0	0.5	30	15	60
	戴浦河	1.5	1.5	18	1.5	0.5	30	15	60
	马路塘	4.52	1.8	20	4.52	0.5	30	15	60

续表

代码	河名	现状			规划				
		河长（km）	河底高程（m）	河口宽（m）	河长（km）	河底高程（m）	河口宽（m）	每侧绿化带宽（m）	总控制宽（m）
Z8	双沟	3.2	1.5	18	3.2	0.5	30	15	60
	新开河 7	0.3			0.3	0.5	30	15	60
	马路塘	3.32	1.5	18	3.32	0.5	30	15	60
	直北沟	2.05	1.8～2.2	8～10	2.05	0.5	30	15	60
	北米场	1.9	1	22	1.9	0	30	15	60
	南米场	3.6	1	24	3.6	0	30	15	60
	关王塘	3.0	1	30	3.0	0	30	15	60
	新开河 8	—	—	—	4.5	0	30	15	30
	奚心泾	2.2	1	20	2.2	0	30	15	30
	季泾塘	1.5	1	22	1.5	0	30	15	30
	经四河（新开）	—	—	—	4.4	0	30	15	30
	南六尺河	3.45	1.5～1.8	18～22	3.45	0	30	15	30
	向阳河	10.1	1.2	18～24	10.1	0	30	15	30
Z9	随塘河	44.0	1～2	10～20	44.0	0	30	20	100

20.2.4 湖泊布局

太仓市属长江流域太湖水网地区，市内河网纵横交错，但没有湖泊。从增加调蓄容量、改善周边生态环境、提高人居质量、提供战略水源地出发，拟新建 6 个人工湖泊。

（1）娄东湖。娄东湖位于城厢镇，地处十八港以西，半泾以东，新港路以北，紧靠杨林塘。该湖的功能定位为水生态、休闲水景观。规划用地正在为筑路提供土量，用地范围内已挖出几个深 3～4m 的大坑，为开湖提供了便捷。四周为杂草地，基本上无拆迁量，拟为近期规划。

（2）紫藤湖。紫藤湖地处城区南郊新城，地处盐铁塘以东，浏河以南，穿越老浏河。功能定位是景观、休闲观光及蓄水。拟为近期规划。

（3）港城湖。港城湖地处港区，七浦塘入江口内侧，米泾、蒋泾分别穿湖而行。该湖的规划建设应结合港区已有的规划进行，拟为近期规划。其功能定位是蓄水、水源、生态、景观及休闲。

（4）凤荷塘。凤荷塘位于双凤镇，地处太平河以北，岳堤河以南，功能定位为生态、蓄水及备用水源以及景观。规划用地范围内有大片的荷塘、鱼塘，其余主要为农田，基本上无拆迁量。拟为中期规划。

（5）斓贝湖。斓贝湖位于沙溪镇，地处沿江高速以西 600m 左右，渠泾以南，米泾以北，功能定位为生态、景观、休闲、度假，与沙溪旅游线相连接，成为旅游休闲的新景点。规划用地范围中部有部分零散分布的小型工厂与民居。拟为中期规划。

（6）金仓湖。金仓湖位于浮桥镇与璜泾镇交界处，地处沪浮璜公路以西 1000m 左右，

由浪港贯穿，功能定位为景观、生态、蓄水及水源。规划用地范围内有分散民居分布，拆迁量稍大。拟为远期规划。

通过对湖泊规划位置的实地调查，根据湖泊功能定位要求，确定了湖泊规划规模及控制蓝线，结果见表 20.10。

表 20.10　　湖泊规模及控制蓝线

序号	湖泊名称	湖泊面积（hm^2）	平均深度（m）	容积（万 m^3）	周边景观带宽（m）
1	娄东湖	85	4	340	50
2	紫藤湖	50	4	200	50
3	港城湖	23	4	92	50
4	凤荷塘	84	4	336	50
5	斓贝湖	60	4	240	50
6	金仓湖	81	4	324	50

参 考 文 献

[1] 国家防汛抗旱总指挥部办公室，水利部南京水文水资源研究室合编．中国水旱灾害［M］．北京：中国水利水电出版社，1997.

[2] 徐向阳．水灾害［M］．北京：中国水利水电出版社，2006.

[3] 徐向阳．湖南省城市洪灾成因及防治对策［J］．灾害学，2005（4）．

[4] 张磊．平原感潮河网区城市防洪规划中的水文计算方法研究［D］．河海大学，2005.

[5] 徐向阳．论中国城市水利规划、建设和管理［J］．城市道桥与防洪，2004（1）．

[6] 杨智硕．暴雨选样间的频率转换问题探讨［J］．福州大学学报，2005（2）．

[7] 陈斌．福建省城区排涝标准及计算方法［J］．中国给水排水，1999（2）．

[8] 徐向阳．平原城市雨洪过程模拟［J］．水利学报，1998（8）．

[9] 李健生．中国江河防洪丛书总论卷［M］．北京：中国水利水电出版社，1999.

[10] 程晓陶，尚全民．中国防洪与管理［M］．北京：中国水利水电出版社，2005.

[11] 杨凯．感潮河网地区水系结构特征及城市化响应［J］．地理学报，第 25 卷第 2 期，2004（7）．

[12] 彭静．城市水系建设的环境重塑［J］．中国水利水电科学研究院学报，第 1 卷第 4 期，2003（12）．

[13] 林芸．平原河网地区水文计算及洪水影响评价方法的探讨［D］．河海大学，2005.

[14] 孙大勇．河网地区多功能河道断面研究［D］．河海大学，2005.

[15] 董哲仁．河流形态多样性与生物群落多样性［J］．水利学报，2003（11）．

[16] 候俊．生态型河道构建原理及应用技术研究［D］．河海大学，2005.

[17] 张锡辉．水环境修复工程学原理与应用［M］．北京：化学工业出版社，2002.

[18] 张建春．河岸带功能及其管理．水土保持学报［J］，2001，15（6）．

[19] 张志荣．处理好河道整治护岸工程与景观关系的几个关键环节［J］．浙江水利科技，2003（5）．

[20] 李洪源，蓝州伟．城市堤防加固与城市景观结合的思考［J］．中国农村水利水电，2004（5）．

[21] 束晨阳．城市河道景观设计模式探析［J］．中国园林，1999（1）．

[22] 王薇，李传奇．城市河流景观设计之探析［J］．水利学报，2003（8）．

[23] 季永兴，何刚强．城市河道整治与生态城市建设［J］．水土保持研究，2004，11（3）．

[24] 周魁一．中国古代水利法规初探，中国科学技术史（水利卷）．北京：科学出版社，2003.

第5编　滨江地区水生态景观体系研究

第21章　滨江地区水生态保护理论与方法

本研究所称“滨江地区”主要涉及我国大江大河的中下游地区，位于我国东中部湿润、半湿润地区，地势比较平坦，以平原地貌形态为主，低山丘陵占有一定比例。滨江地区经济发展速度快，人口密度高，人类活动对自然生态环境的干扰强度大，水生态系统作为自然生态环境的重要组成部分也受到了人类活动的强烈干扰，且这种干扰可分为正、负两方面的效应。由此，在自然和人类活动双重作用下，既形成了滨江地区水生态的特点，也给滨江地区水生态带来了一系列问题。

21.1　滨江地区水生态特征与问题辨析

21.1.1　水生态特征

1. 水面率较高

滨江地区因依托大江大河，大多水系纵横，河网密布。以江阴市为例，全市河网密度平均达4.98km/km^2，水域面积175.8km^2（含长江水面56.7km^2），水面率为17.8%；若不包括长江水面，则水面率为12.8%。较高的水面率为建立健康的水生态系统提供了良好的物质基础。

2. 水生态空间极易受人类活动影响

滨江地区的水生态空间是叠加在区域生态空间基础上的。天然水生态空间的发育完全按照自然规律发生发展，表现为水环境自组织协调发展，受到生物生命活动和节律性的影响。区域地球化学过程、作用制约着水生态空间的存在与发展。滨江区域人类活动对水生态空间的影响集中于表生水生态空间，从地貌部位来看，人类系统对坡面系统水生态空间的改变会对河流系统水生态空间产生间接的和继发性的影响，且这种作用非常强烈。河流、湖库、坑塘等显性水生态空间易于遭到人类活动的直接干扰，其易损性要大于隐性水生态空间。因此，维持一定比率状态下的显性水生态空间和隐性水生态空间将有利于区域水生态系统的协调发展。

3. 部分水体生态环境质量较好

虽然滨江地区水生态环境有逐渐恶化的趋势，但通江河道以及分布在人口密度较低、

人类活动强度较小地区的水体的生态环境状况相对较好，如江阴市的白屈港、夏港河、新沟河以及位于南部地区的水体等。

4. 由于控制开采地下水使地面沉降有所恢复

随着对地下水开发利用的限制，部分滨江地区的地下水得到有效保护，地面沉降有所恢复。如江阴市地下水开采历史悠久，早期主要开采浅层地下水，一般用于居民生活用水。自20世纪80年代以来，随着乡镇工业的迅猛发展和人民生活水平的提高，对水的需求量越来越大，加大了对地下水的开采，且逐步向深层发展，开采井数量逐年增加。截至1998年底，江阴市共有开采井数499口，地下水开采总量为3484万m^3，日均开采量为9.68万m^3。过量开采地下水引起的地面不均匀沉降，不仅使房屋倾斜、地面开裂，而且随着地面沉降，还降低了原有的防洪标准。1999年测量发现马镇下沉112cm，青阳塘头桥头下沉91cm，下沉超过60cm的还有月城、祝塘、文林等地。为控制地面下沉，江阴实施了控采地下水的措施，2003年超采区全面封井，2005年底非超采区全面封井，地面沉降有所恢复。

5. 水生态保护意识逐渐加强

一般来说，滨江地区工业化程度高，经济发展速度快，财政收入水平高，加之政府及市民水生态保护意识的进一步提高，可用于水生态环境整治和恢复的经费有一定保障。如江阴市从以前只重视水利管理，到现在构建了兼顾水环境的改善以及城市河道功能转变的水系结构，重视农村废弃物的处置、河面垃圾的清理以及河道清淤，重视湿地的生态恢复与自然保护等方面的河道管理体系。

21.1.2 水生态问题

工业化、城市化进程的加快，经济发展与环境保护之间的矛盾日益突出，对滨江地区的水生态的冲击越来越大，由此带来了滨江地区的水生态问题，主要表现为：

1. 污染物来源广，水环境恶化，治理难度大

生活水平的提高和工业的高速发展，产生了大量的生活和工业废水以及富含农药、化肥的农田径流及养殖业排放的污水。这些污水处理率不高，严重污染了内河水体，致使许多内河河道水质变为Ⅴ类和劣Ⅴ类，加剧了可用水资源的短缺，还对区域其他水体、土壤、大气及其他生态因子产生污染和破坏。河流污染影响范围不仅限于污染区，而且对下游水环境产生影响，影响范围及污染程度与径流量和排污量有关。滨江地区水污染是一个长期存在的问题，有些地区甚至还将进一步恶化。水资源的质量与数量相比，水质对滨江地区社会经济发展的制约作用更大，水质已经成为影响水资源供需平衡分析的一个重要因素。

2. 农村水生态环境形势不容乐观

一方面，由于农业生产大量使用有机肥料和杀虫剂，农业污水的排放量已经严重威胁着滨江地区的生态环境；另一方面，滨江地区许多农村村镇级河道淤积严重，水流不畅，岸坡年久失修，水体净化能力降低。此外，新型农民新村、农村集中居住区的形成使得生活污水集中且直接就近排入附近河道，诸如此类的问题加剧了农村水环境的污染。

3. 滨江地区用水量大且集中，安全供水面临严峻挑战

尽管滨江地区水资源较为丰富，但由于人口增加、经济发展，用水量逐年增加，使得

水资源开发与生态用水冲突，安全供水面临挑战。以南京市浦口区为例，近5年浦口区供水量年增幅均在10%以上，100% 的自来水直接或间接来自长江，供水水源需求日益增长，饮用水源地单一，缺乏应急机制。

另外，大量引水和开采地下水，导致入海水量减少和河口淤积加剧等。

4. 水面率呈逐年下降趋势，易引发洪灾

随着城市化的发展，原先纵横密布的河道被填埋，池塘、水田等被随意挤占。例如，据统计资料和多期遥感资料分析表明，江阴市水域面积呈逐年下降的趋势，且空间分布不均衡。1991～2002年，全市水域面积下降了28.31km^2。另外，由于河道漫滩被挤占，河槽过水断面减小，行洪能力削弱，易产生洪灾。

许多河流被阻断，成为断头浜。水系本来是一个连续体，它们与湿地、城郊湖泊和山林形成一个完整的景观体系。同时，它是城乡生态系统的“基础设施”，还是多种乡土生物的栖息地和通道，也为城乡居民提供了一个连续的休闲空间和环境认知空间。然而，这一连续体却常常在城乡建设中被切割，使活水成为死水，失去生命。这些现象的普遍存在，反映了我国许多城市的治水理念仍停留在传统水利阶段，即重视骨干河道的疏浚、拓宽、开挖，重视防洪排涝；缺乏对水系的有效保护机制和对策。比如对于水面率的控制保护，就上海而言，目前只有防汛部门提出城市化地区可调蓄的水面率不得少于3%的硬指标控制要求，但这远远低于从保护河网水系结构和功能的角度考虑，上海平原河网地区的平均水面率应至少保持在约12%以上的标准。可见，我国河流的治理和管理，注重河流污染的治理，不强调河流水系的保护、河流生态系统结构功能的恢复和维护。

5. 水利工程的实施对水生态系统产生了不良影响

闸、坝等控制性水利工程减轻了自然的水文灾害，为滨江地区稳定的水源供给提供了保障。但水库改变了天然河道的水文情势，使之变成人工控制的河道径流。人工裁弯取直，疏浚整治、硬质护坡改变了河道的自然特性，打破了水生态系统的自然平衡，使得河流部分生态功能丧失，加剧了水生态环境退化。地表水系人工化，排水系统地下化是滨江地区人类活动对水系干扰的结果。位于城郊、农村的河道虽然大部分没有石砌护岸、渠化，保持了河流的自然性，但河坡坍塌严重，河道普遍淤积，调蓄水体逐渐减少。另外，如果河岸做硬化处理，将使能够阻挡垃圾的植被被破坏，更容易造成河道水质的污染。河流大量引水改变了天然径流的水文过程，削弱了河流的自净能力。

6. 水生生物数量减少，生物多样性下降

自20世纪70年代以来，由于水环境恶化及水域生态系统遭受破坏与威胁，滨江地区水域生态系统中的生物资源因此亦受到极大威胁，水生生物大量死亡，鱼类资源锐减，而且个体普遍变小，呈现小型化的趋势。

7. 滨水防护绿地建设不足，滨水土地利用变化作用明显

市场经济条件下，土地利用总是向经济效益最大的方向发展，表现为农用土地向非农用土地转化，导致土地利用类型的多样性和利用结构的复杂性。非农用地的发展需求与基本农田保护要求的矛盾非常突出，土地利用的转型重视土地的经济产出，轻视土地利用的生态保护，生态空间大量丧失，生物多样性受损，水生态环境保护压力较大。滨河空间常常被侵占为农田和城市建设，一方面，导致滨水防护绿地建设不足；另一方面，土地利用

变化导致的地表覆盖的变化对水生态的作用越来越明显，集中表现在径流组成、侵蚀速率、地下水补给强度变化等方面。使得滨江地区土地利用格局及其变化对水生态影响作用的研究越来越重要。

8. 人类活动导致水土流失与景观生态破坏

开山采石、森林砍伐、植被破坏等人类活动导致了滨江地区的水土流失和景观生态的破坏。如江阴市境内矿石资源开采企业数量多、分布广，造成植被大量破坏且使土地贫化与水土流失严重，另外许多山看上去千疮百孔，严重影响景观、旅游资源的价值及生态环境质量。

总之，滨江地区的水生态问题主要表现在水质恶化、水生态环境退化、水面率下降、供水安全、水生态系统失衡、水生生物多样性下降等方面，这些问题最终还会加剧水旱灾害的发生，增加防灾减灾的压力，形成恶性循环，直接危害滨江地区的水安全。因此，如何从滨江地区水生态特征出发，研究水生态保护的理论，制定适合当地经济社会发展与水生态环境保护的策略，为实施区域性水生态环境的保护与管理提供科学理论依据显得尤为重要。

21.2 滨江地区水生态保护研究的理论基础

滨江地区水生态保护研究以生态学理论与方法为主，主要涉及以下几方面。

1. 复合生态系统理论

可持续发展问题的实质是以人为主体的生命与其环境间相互关系的协调发展。包括物质代谢关系、能量转换关系及信息反馈关系，以及结构、功能和过程的关系。这里的环境与作为主体的人一起被称为社会—经济—自然复合生态系统，具有生产、生活、供给、接纳、控制和缓冲功能，构成错综复杂的人类生态关系。它包括人与自然之间的促进、抑制、适应、改造关系，人对资源的开发、利用、储存、扬弃关系，以及人类生产和生活活动中的竞争、共生、隶属、乘补关系。发展问题的实质就是复合生态系统的功能代谢、结构耦合及控制行为的协调。

滨江地区水生态系统是一个复合生态系统，称作“水—人复合生态系统”，它是以人工技术和社会行为为主导、以自然生命保障系统为依托、以生态过程为命脉的人工生态系统。它可分为水生态系统（河流、湖库等）、陆地自然子系统和社会经济子系统（图21.1），且三者之间彼此促进又相互限制，在生产、消费和服务中起着不同的作用，支撑着生命、环境和人类社会的生存和发展，同时也引起了复杂的水问题：水多、水少、水脏、水生态恶化等。从生态控制论的观点来看，一个稳定的生态系统需要由正负反馈机制的平衡来维持或促进它的发展。要使水—人复合生态系统正常工作，需要深入研究和理解其3个子系统间以及各系统内部所隐含的时间、空间、数量、结构和序理关联性。

复合生态系统的行为遵循生态控制论规律。王如松等从我国几千年人类生态哲学中总结出8条生态控制论原理，包括开拓适应原理、竞争共生原理、连锁反馈原理、乘补协同原理、循环再生原理、多样性主导性原理、生态发育原理、最小风险原理。这些原理可以归结为3类原则，即对有效资源及可利用的生态位的竞争或效率原则，人与自然之间、不同人类活动间以及个体与整体间的共生或公平性原则；通过循环再生与自组织行为维持系

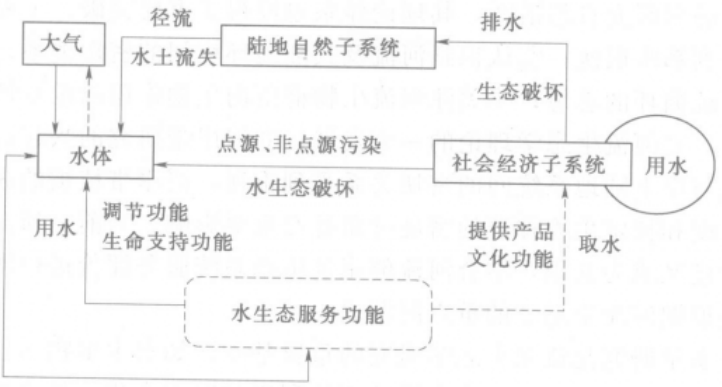


图 21.1 水生态系统、陆地自然子系统和社会经济子系统的关系

统结构、功能和过程稳定性的自生或生命力原则。

2. 生态水文学

生态水文学重点研究陆地表层系统生态格局与生态过程变化的水文学机理，揭示陆生环境和水生环境植物与水的相互作用关系，回答与水循环过程相关的生态环境变化的成因与调控。国际上流域生态水文学研究可归纳为 3 个主要方向：一是流域或区域水文循环过程中生态与水文相互作用与影响问题，研究生态过程如何影响流域或区域的水文循环过程，包括河道内水生生态系统对河流水文过程的作用；二是流域水利工程措施如何作用和影响流域内的生态系统，也就是流域水文过程或水文情势变化对生态系统有何影响的问题，包括河道内和河道外相关区域；三是生态水资源问题，研究流域内各种生态系统的水资源需求和水消耗规律，包括不同水资源供给情况下的生态水分胁迫的响应机理。可以认为，生态水文学是基于水文学和生态学理论基础的包含生态水文过程与生态水资源两个理论与实践相结合的学科体系。

3. 水生态系统服务

水生态系统服务功能是指水生态系统及其生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。它不仅是人类社会经济的基础资源，还维持了人类赖以生存与发展的生态环境条件。根据水生态系统提供服务的机制、类型和效用，把水生态系统的服务功能划分为提供产品功能、调节功能、文化功能和生命支持功能四大类。水生态系统提供的产品主要包括人类生活及生产用水、水力发电、内陆航运、水产品生产、基因资源等；调节功能主要包括水文调节、河流输送、侵蚀控制、水质净化、空气净化、区域气候调节等；文化功能主要包括文化多样性、教育价值、灵感启发、美学价值、文化遗产价值、娱乐和生态旅游价值等；生命支持功能是上述服务功能产生的基础，其对人类的影响是间接的并且需要经过很长时间才能显现出来。过去往往过分注重水的物理实体而不注重其生态关系，只注重其工程结构、经济过程和社会功能，而忽视其生态服务和维持功能，而正是这种生态服务功能使得经济得以持续，社会得以安定，自然得以平衡。

4. 河流生态学

河流生态学起源于水生昆虫学和渔业生物学，是湖沼学的重要研究内容之一。到 20 世纪 70 年代中后期，由于全球水资源危机和洪涝灾害的频繁发生促使人们给予河流更多

的关注，河流生态学研究日趋活跃，其理论体系也取得了重要突破。主要表现在：①研究视野从个体发展到系统层次；②认识到河流及其陆地环境间的密切关系；③形成了河流营养物质在开放系统循环的思想；④关注河流生物群落内生物作用的重要性；⑤河流连续统概念理论的发展，是河流生态学理论的一大发展；⑥河岸带研究的兴起，在河流生态学发展过程中，河流与岸上陆地系统间的密切关系受到重视，河岸带植被的纵向分布格局对不同河段营养盐浓度和特定生物种群的密度分布等有重要影响。当前，河流生态学的研究在流域尺度上展开已经成为共识，结合河流健康及生态系统服务评价进行河流生态系统可持续管理研究将是近期河流生态学的重点问题之一。

开展河流生态学研究是流域生态学研究的重要基础。如水生生物不仅能净化水质，而且其生物多样性还随流域内陆地生态系统的土地利用状况而变化，是流域环境质量的指示生物。因此只有在充分了解河流生态系统生态因子间相互关系的基础上，才能进一步了解流域内水陆系统间的关系，从而在流域的高度上展开河流生态系统管理的综合研究。

5. 流域生态学

流域是指一条河流（或水系）的集水区域，河流（或水系）由这个集水区域上获得水量补给。流域生态学指以流域为研究对象，运用现代生态学和相关学科的理论和方法，研究流域内各系统的结构与功能，以及系统之间的相互影响和作用的一个生态学研究的新领域。流域生态学是一门复杂的交叉学科，主要研究流域自然、社会和经济之间的动态关系，其基本框架如图 21.2 所示。

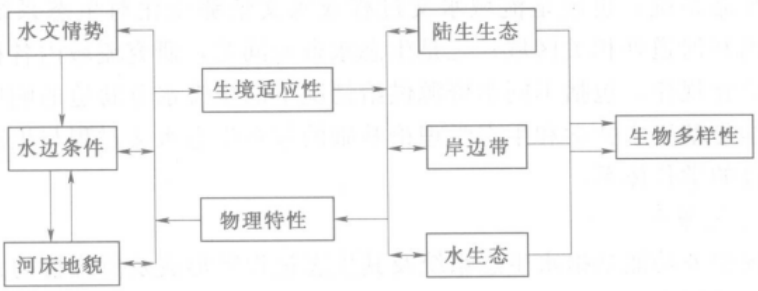


图 21.2　流域生态学的基本构架

在将流域作为一个复合生态系统，对其结构和功能进行研究的基础上，进一步从中、大尺度上对流域内各种资源的开发利用、保护及环境问题进行研究，为流域中陆地和水体的合理开发利用决策提供理论依据。流域生态学要求在流域尺度上开展河流研究，高度重视水体与陆地间的相互关系，为河流生态系统的研究、保护与管理提供新思路。

6. 生态需水量

关于生态需水量，较早的研究主要是为满足河流的航运功能而进行的关于河道低流量的研究。随后，由于河流污染问题的出现，开始了对最小可接受流量的研究。其最小可接受流量除了满足航运功能外，还要满足排水净化功能。20 世纪 90 年代，生态系统需水量研究成为全球关注的焦点。国外有关生态需水的研究强调水资源在整个生态系统中的地位和作用，并注重生态系统中与水有关的各因素之间的综合研究，特别是生物多样性的研究。国内相关的研究虽然起步较晚，但是研究进展较快，从水量平衡与生态系统角度等都

有不同程度的进展。随着河流受人为因素影响和控制的加强，河流生态系统结构和功能遭到破坏，生态可接受流量范围的研究逐渐展开。

7. 生态安全

世界上许多国家都将水安全问题列入国家安全战略并给予高度重视，水生态安全是水安全的重要组成部分。水生态安全是指人们在获得安全用水的设施和经济条件的过程中，所获得的水能满足清洁生态和健康环保的要求，既满足生活和生产的需要，又使自然环境得到妥善保护的一种社会状态。水生态安全是水生态资源、水生态环境和水生态灾害的综合效应，兼有自然、社会、经济和人文的属性。提高水生态安全水平是使人类摆脱贫困、确立“人水相亲、自然和谐”的水生态理念，以及保持社会安定、提高社会生产力的关键手段，是实现经济社会可持续发展的重要内容。

21.3 滨江地区水生态区划研究思路

21.3.1 水生态区的提出

“生态区”一词在1967年被首次提出，是指具有相似生态系统或期待发挥相似生态功能的陆地及水域。

水生态区的概念起源于美国，是指具有相对同质的淡水生态系统或生物体及其与环境相互关系的土地单元。水生态区突出了水生态系统的完整性和水体的区域分异性。水生态区可使得水管理者对具有同样生态特征和资源属性的水体进行统一管理，并制定相应的管理标准，确定监测的参考条件及恢复目标，采取切实可行的管理对策和恢复措施。

21.3.2 水生态区划的应用

生态区划的目的是为生态系统的研究、评价、修复和管理提供一个合适的空间单元。自生态区概念提出之后，许多部门和学者开展了不同类型的区划体系研究，如以陆地生态系统为对象的Bailey分区，以海洋生态系统为对象的海洋生态区划等。其中，关于水生态区划的研究最多，而且在管理中的应用也最为成功。水生态区及其区划在许多方面实现了很高的应用价值。

1. 水生态系统评价和保护

水生态区不仅能够指导水质管理，而且能为水生态完整性标准的制定提供依据，实现从水化学指标向水生态指标管理的转变，因此，水生态区划方法在水生态系统评价和保护方面具有重要的价值和作用。休斯和拉尔森根据俄勒冈州、俄亥俄州、阿肯色州、明尼苏达州不同生态区间所存在的水质及其水生生物群落的自然差异，建立了水生态区、水质类型和鱼类群落的关系模型，依此确定地表水的化学和生物保护目标，并指出水生态区能够建立区域和监测点之间的联系，在适宜的统计方法支持下，基于水生态区的分析可以精确预测那些没有条件开展定点研究调查和现场监测的水体状况。

2. 土地利用对河流水体的作用

水生态区作为生态管理的空间单元，能反映人类活动与水生态系统的相互影响和作用，因此，可以用来研究土地利用方式对水生态系统作用的影响。结合水生态系统完整性评价，确定水生态系统对水环境的要求及其保护等级，实现人类需求功能与水生态需求功能相互协调。美国环境保护局（USEPA）通过比较位于同一水生态区内受到干扰和未受

干扰河流之间的差异，研究土地利用对河流生态系统的影响规律，确定不同土地利用方式对河流的干扰程度。

3. 河流生物监测

水生态区是挑选受干扰程度最小的河流参考区域的有效手段。参考区域是指用来定量化河流生态系统的健康程度，为河流相互比较建立基准和标准的那些受人类干扰程度最小的区域。由于缺乏长期的、可靠的水生生物监测资料，可以根据生态区划分的参考区域对水生态系统的退化程度进行评价。作为评价基准，参考区域要求与被评价区域位于同一生态区内，具有相似的环境条件，而且所受人类干扰程度最小。USEPA 在佛罗里达州采用基于水生态区的方法来确定河流生物监测的参考区域，结果表明水生态区是一个有效的方法，休斯等认为参考区域还可为不同流域之间的水生态系统对比研究提供手段。

4. 湖泊水库管理

水生态区是搜集湖泊群数据和确定湖泊营养标准的有效方法。湖泊的生产力及生物群落与水生态区存在着密切的联系，因为湖泊生产力和营养状况是由气候、地形、土壤、地质、土地利用及其他因素共同决定的。人们基于水生态区可以更为客观地评价湖泊、水库的营养状况以及营养指标之间的相互关系，并建立反映总磷、叶绿素 a、营养状态和鱼类、湖泊混合类型之间关系的区域模型。美国研究人员在明尼苏达州根据水生态区确定取样规模，结果只对 10%的典型湖泊进行取样就掌握了整个区域湖泊基本状况，从而节约了大量的人力和物力。由于湖库生态系统的空间特征差异，USEPA 发现不能在全国使用统一的湖库营养物标准，建立基于生态区的标准更适合于湖库管理。美国在 1998 年颁布了制定区域营养化基准的国家政策，2000 年发布了湖库营养化基准制定导则，2000 年以后开始颁布了其 14 个水生态区的湖库营养物水质基准，为美国湖泊、水库的有效管理提供了有力的支持。

5. 湿地管理

水生态区在描述湿地特征以及评价人类活动对湿地的影响方面具有重要作用。水生态区是开展湿地影响评价的有效方法，如果将水生态区结构与水文单元结构相互结合，将更有利于开展淡水湿地的缓解作用的研究。贝德福德在湿地标准的研究中，指出湿地管理需要在更大的时空尺度上进行，有必要把湿地标准的尺度范围从个别工程扩展到景观层次，而水生态区正是建立这种大尺度湿地标准的适宜区域单元。

6. 非点源污染标准的制定

由于点污染源目标清楚，便于检测，世界各国几乎都是先抓点污染源的治理，再抓面污染源的防治。而滨江地区面污染源对水环境污染的贡献率越来越大，其控制的难度也远大于点污染源的情况。将水生态区作为非点源污染标准制定的空间体系，并建立以水生态区为基础的水污染防治方法体系，该体系比单纯以工程技术为主的污染防治体系更具有前景。

7. 跨行政区的水生态资源管理

行政区域是我国统一的管理体制方式。流域是指水系的汇水区域和具有水文功能的连续体，其特征决定了水资源的产流与汇流方式。从景观生态学来看，流域是以河流水系为廊道，由“坡地—平原—湖库”斑块所组成的空间联合体。与此相对应，不同斑块中由于

自然作用和人类活动产生的点源、非点源污染物经由支流廊道汇入干流，从而对水环境和水生态系统产生重要影响。环境合作组织委员会的研究人员将美国水生态区划方法扩展到了整个北美地区，认为水生态区对跨边界的流域水生态资源管理非常重要。

8. 协调人类的需求

水生态区划是水功能区划、地表水水环境功能区划的有效补充。水体为人类活动提供产品和文化功能，也为人类赖以生存的水生态环境提供维持调节功能和生命支持功能，所以人类对水环境有要求的同时，水生态系统对水环境也有标准。水生态区在人类需求功能定位、分级管理目标确定等方面需要结合经济社会发展动态（包括产业结构调整、水资源利用、水污染排放等）提出相应的动态调控机制，结合水生态区确定生物指标，核实各功能区生态用水要求。

总之，水生态区划作为一种为水体生态管理服务的空间单元划分方法，其区划目标是反映水生态系统的区域差异。滨江地区水管理正处在从资源管理、污染控制向生态管理的转变过程中，水资源的利用与保护都要考虑到水生态系统的基本要求，而水生态系统具有区域性和层次性，这就需要建立以水生态区划为基础的管理技术体系来保证滨江地区水生态管理的成功实施。并且，随着非点源污染控制的日益重要，为了从根本上认识到水生态系统破坏的形成原因与机制，适应滨江地区水生态环境管理以及水生态修复的新要求，有效地协调滨江地区经济社会发展与水生态环境保护的关系，满足未来实施陆域与水域统一管理的水管理需求，我国滨江地区尤其需要实施以水系的自然和生态特征为基础的水生态区划。

21.3.3 国外水生态区划方法

水生态区划实质是一定尺度下的水体分类方法，所划定的每个区都被看作是离散的系统，能够反映地貌、地形、土壤、植被、气候、水文以及人类影响因子的作用关系（图21.3）。这些因素在不同尺度上相互作用，共同决定着其境内河流的水文、河道形态、基质类型等物理及水化学特征，从而进一步影响水生生物群落的分布和结构，最终导致水生态系统的类型差异。因此，通过对这些要素的识别和分析，可以识别出生态区的范围，但研究表明在不同的生态区这些指标的重要性并不相同，因此需要针对具体区域进行分析，选择相应的区划指标和标准，以下着重介绍美国的区划方法。USEPA 以 4 个区域性特征指标为基础进行 3 级生态区划，具体包括土地利用、土壤、自然植被和地形，它们被认为是影响水生态系统特征，能够反映水生态系统与周围陆地生态系统相关关系的关键因素。这些环境要素之间是相互关联的，例如气候和地貌影响着土壤构成，土壤类型和气候进一步影响着植被类型，植被类型反过来也影响土壤类型；另外这些因素又都对土地利用方式有所作用，它们共同决定着水生态系统的空间类型。但是在不同的区域这些因素的相互作用不同，需要对其进行具体分析，才能判断出主要的影响要素。因此，美国水生态区划分的最大特点就是没有全国统一的划分标准。

USEPA 水生态区划方案分为五级体系。其中，一级和二级层次分别将北美大陆划分为 15 和 52 个生态区。三级层次中美国大陆被划分为 84 个水生态区，以三级区划为基础，各州开始利用更大精度的数据来划分 4 级区，以反映水体的特殊环境特性。四级层次在三级生态区基础上由各州进行划分，如阿拉斯加州划分为 20 个生态区；4 级区的划分主要

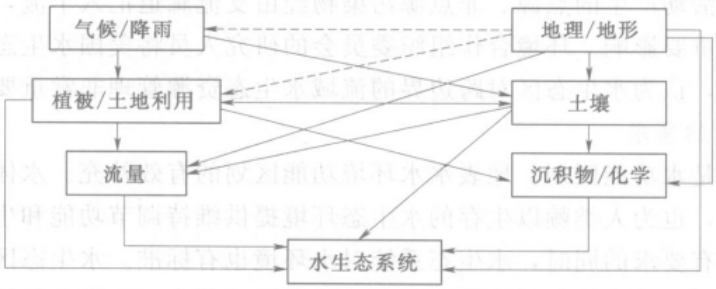


图 21.3　水生态系统影响因素关系图

是对三级生态区内的气候、地文、土地利用、土壤、植被以及地表水质等指标的差异进行划分。五级层次是区域景观水平的水生态区划分。在实际应用中，根据数据分析的要求可以在不同层次上对水生态区进行重新集合。

USEPA 生态区边界最初以定性分析的方法进行确定，具体是首先对 4 个特征因素的专题图进行叠置和比较，确定 4 个因素的空间特点和关系，在权衡各个因素的重要性之后确定水生态区的潜在范围，然后结合专家经验最终确定区域边界。该方法的优点在于能够将主导因子和专家意见相综合；缺点在于方法是非定量化的，不具有可重复性。随着 GIS 技术的发展，美国各州逐渐开始采用量化的区划技术方法，对原有的生态区划边界进行重新确定。如 1996 年采用多变量空间统计分析方法对威斯康星西南部进行了区划边界的重新确定，与手工区划结果相比较，精度提高了 45%。

自 1987 年美国水生态区划方案提出之后，澳大利亚、英国和奥地利等国家也纷纷开始采用这一技术。欧盟在 2000 年颁布的“欧盟水政策管理框架”中，提出要以水生态区为基础确定水体的参考条件，根据参考条件评估水体的生态状况，最终确定生态保护和恢复目标的淡水生态系统保护原则。

21.3.4　水生态区划、水功能区和水环境功能区划

水生态区是水功能区和水环境功能区划的基础，它为功能区划中水体生态特征识别、生态功能的确定提供依据。在我国的功能区划中，水体的资源功能受到人们的重视，但对河流、湖库等水体的生态功能却考虑不足。通过水生态区划和水功能区划可以识别和确定水体的资源功能和生态功能，在此基础上再由水环境功能区划制定出相应的保护目标。水生态区划不仅突出了水体的生态特征差异，还体现了水体的资源功能与生态功能的协调，为水功能区划和水环境区划的保护目标的确定提供科学基础。

21.3.5　我国的水生态区划相关工作

19 世纪 80 年代初，我国开始对生态区划理论与方法进行了一系列探讨。其中，侯学煜 1988 年提出了自然生态区划的原则、依据，并以植被分布的地域差异为基础，进行全国自然生态区划，提出了不同区域的大农业发展策略。1999 年，杨勤业等人从结构与功能区划相统一的角度，提出对中国生态地域划分的方案。此后，傅伯杰等人提出了中国生态区划的方案，目的是通过开展全国生态区划和建立区划信息系统，为区域资源开发与环境保护提供决策依据，为全国和区域生态环境综合整治服务。其突出特点是将特征区划与功能区划相结合，自然环境特征与人类活动相结合，生态与经济相结合。在要素区划的基

础上，利用专家集成和定量分析相结合的方法进行综合生态区划。并在综合分析我国生态环境特点的基础上，探讨了生态区划的原则和依据，建立了各级生态区单元划分的指标体系和命名系统，最后将我国生态环境划分为3个生态大区、13个生态地区和57个生态区。并提出要重视人类活动对生态系统的作用。但其主要是在自然生态系统划分基础上附加一定的人类经济活动（主要为农业活动），对于不同区域经济发展水平、资源利用效率、社会文化差异尚未得到较好体现，特别是针对不同区域特征，其未来区域功能定位差异基本没有反映。

2000年，国务院印发了《全国生态环境保护纲要》。2001年，国家环境保护总局会同有关部门组织完成了我国西部地区生态环境现状调查，并以甘肃省为试点开展了生态功能区划。

生态功能区划是我国继自然区划、农业区划之后在生态环境保护与生态建设方面的重大基础性工作。2002年，国家环境保护总局发布了我国首部《生态功能区划暂行规程》（以下简称《暂行规程》），用以指导和规范各省、自治区开展生态功能区划。《暂行规程》中的生态功能，是指自然生态系统支持人类社会、经济发展的功能，国内外学术界统称为“生态服务功能”。生态功能区划是指根据生态环境要素、生态环境敏感性与生态服务功能空间分异规律，将区域划分成不同生态功能区。其目的是为制定区域环境保护与建设规划，维护区域生态安全、资源合理开发利用、工农业生产布局，保护区域生态环境提供科学依据；为环境管理和决策部门提供管理信息和手段。它在参与政府管理、指导生态保护和规范生态建设中将发挥重要作用。

国家环保总局在各省、自治区开展了生态功能区划制定工作，主要是根据生态系统的特征、生态服务功能的重要程度以及区域面临的生态环境问题和生态敏感性，把特定区域划分为自然生态区、生态亚区和生态功能区3个等级单元。目前，全国各省（自治区、直辖市）的生态功能区划已经完成，部分城市也进行了生态功能区划。如以《暂行规程》以及江苏省自然环境和各类生态系统特征为依据，制定了“江苏省重要生态功能区划工作方案”，确定了15类重要生态功能保护区。其中与水生态有关的生态功能区10类，分别为：重要水源涵养区、水土保持区、洪水调蓄区、自然保护区、风景名胜区、饮用水水源地、重要湿地、清水通道保护区、重要渔业水域和海岸带防护区。可见，水生态在保持区域生态平衡、减轻自然灾害、确保地区生态环境安全方面具有举足轻重的作用。

在上述区划中，水一直是被考虑的核心要素之一，但它们是以反映生态系统的综合特征和功能为目的，而不是以表征水生态系统特征为目标，区划结果往往不能直接作为水管理的空间单元。为了满足生态水量标准制定的需求，尹民等人在以往水文区划的基础上，提出了我国的生态水文区划方案，将水文要素特征与水生态特征区划进行了初步关联。这标志着中国的生态区划已开始向水生态区划的方向发展，但中国真正的水生态分区体系还尚未建立。

21.3.6 滨江地区水生态区划思路

水生态区划能为充分了解水生态系统特征及其与人类活动的内在关系提供科学理论依据，是实施水生态分区保护管理的基础，是滨江地区生态建设的重要内容，是制定适合当地经济社会发展与水生态环境保护策略的理论依据。水生态功能区划一旦制定，将为制定

区域水生态环境保护和建设规划、维护区域水生态安全、合理利用水资源与布局工农业生产提供科学的依据。

1. 滨江地区水生态区划原则

水生态区划目的是反映水生态系统的空间分布规律和特征差异。在区划过程中，水生态区划应遵循水生态系统的层次与等级原理，体现实现水陆一体化管理的目的，与河流现有管理单元相衔接，保持生态系统完整性和流域完整性等原则；选择与分区层次体系相一致的影响因素作为指标；应用生态学中的格局与尺度等原理与方法，对水体及其周围陆地进行区域分类。为了保证区域与流域管理的协调，保持水文单元的完整性，各级分区尽量保持水文单元的完整性，通过对分区边界的适当调整，使得小流域尽可能落在一个水生态区范围内。

2. 滨江地区水生态区划指标

生态区划的目的是为了找出生态系统功能的地域分异，进行类型划分和空间定位。滨江地区水生态区划对象是水生态系统及其与陆域相交的一定范围。

目前，进行生态区划的指标和方法还缺乏统一的标准。确定滨江地区水生态区划的指标是水生态区划研究中的关键内容。滨江地区的水生态区划体系应在借鉴国外水生态分区理论的基础上，通过对滨江地区水生态系统特征与影响因素的调查与分析，提出与研究区域水生态系统状况相适应的区划体系。大区域的生态区划多采用气候—植被分类方案；而小区域多以土壤、湿热组合、生物温度、植被、土地利用、高程等多种静态特征因素为指标，同时又多以植被界限去修正区划界限。滨水地区作为一个完整的景观单元，由水的三维运动将上游与下游、漫流区与河渠、地表与地下连为整体。在这种包含着连续生态过程的景观中，水生态过程是无所不在的最重要的生态过程。从滨水地区自身土地利用特征出发，水的运动应是首选的景观生态过程，其他的诸如植被的地理分布，表达了在水生态过程的制约下其他因子共同作用的一种功能，是水因子的非静态格局的指示物。水是一种对其他生态过程具有限制作用的物流过程，是生物生存的环境和必需因子。但生态区划又离不开对区域中各种生态特征因子的认识和筛选。考虑到植被与水因子的相关特性和植被的分布可以解释不同功能区的功能差异，所以将植被作为功能区划的重要指示物。此外，地貌、土壤、人类活动等都是区划必须考虑的重要因素。河流生态系统主要受河道水文、河流形态、栖息环境等小尺度因素的直接影响，宏观尺度上的因素往往是通过影响这些小尺度因素，然后进一步影响到水生生物状况，因此河道水文、河流形态、栖息环境等小尺度要素是确定那些大尺度主导性因素的出发点，通过对具体的影响关系进行分析，发现河道水文主要取决于区域水文条件、干旱程度等因素，而河流形态和栖息地环境更多是受到地势、地貌、土壤和植被类型的影响，如地势变化对河道水力坡度、地貌类型对河道形态、土壤对河流基质条件、区域植被对河岸带植被状况的影响等。

对植被指标而言，生态区划是利用植被这一面镜子作为相似程度的一种指示，应区别于植被区划。

3. 区划方法与体系

已有的生态功能区划往往是根据区域生态环境要素、生态环境敏感性和生态功能的差异，将特定区域划分为自然生态区、生态亚区和生态功能区 3 个等级的过程。在区域生态

服务功能重要性与生态压力分区评价的基础上，考虑地形地貌和水系流域分布状况以及土地利用现状，采用空间叠置法、相关分析法、专家集成法等方法，按生态分区的等级体系，通过自上而下的划分，结合自下而上的合并进行区域生态区划，形成二级区划体系，即自然生态区和复合生态亚区。结合滨江地区水生态系统的层次结构特点，建立三级水生态分区体系。

一级分区——自然生态区。根据地貌类型、地势、水系流域、水文影响特征因素等地理特点，结合行政界线进行分区。反映区域的自然条件差异和生态特征，反映大尺度的地势、水热要素对水生态系统的宏观影响。可以选择水热要素和地形地势作为区划指标，如径流深度、地形格局等。

二级分区——复合生态亚区。根据地貌和土地利用类型，以及人类的社会经济活动如产业布局与城镇分布等因素，从区域本身的特点出发。反映区域尺度的地形、地貌及植被对河流栖息地环境条件的影响。可选择性地选取特征影响因子，如地貌类型、海拔高度、土壤类型、植被类型等指标，同时考虑河、湖分布以及水库节点对水生态栖息地环境的影响，并结合行政界线在一级分区基础上进行二级复合生态分区。

三级分区——水生态分区。在二级分区的基础上，兼顾人类影响因素，综合分析人类对水生态系统的干扰过程以及水生态系统所表现出来的敏感性，综合细分出更小尺度的水生态单元，从而划分出相应的水生态区。如湖库斑块、河流水系生态廊道、滨江水生态廊道以及廊道两岸防洪堤内的水域、湿地、洲滩等。

21.4 滨江地区水生态评价指标体系

与水生态区划一样，建立水生态评价指标体系也是有效保护水生态系统的基础。以水生态区为基础针对评价指标制定不同的评价和保护标准，以便采取不同的恢复与保护方法。

大量研究表明，水生态系统的区域特征不是由单一的地表要素所决定的，而是由多种地表要素共同作用所决定，并且这些要素在各个区域所发挥的作用也不尽相同。总体来看，水生态评价指标可在参考美国水生态准则（Water Ecological Criteria）的基础上结合流域的实际情况筛选确定。

21.4.1 建立水生态评价指标体系的考虑因素

建立水生态评价指标体系时需考虑以下因素：

（1）时间因素。与时间因素相关的气候、植被条件直接关系到水生态系统的保护。我国是一个气候季节变化明显的国家，水生态系统在一年中随着气候的变化而变化，所以在水生态评价时要考虑时间这一因素。例如，在枯水期，水生态系统自净能力降低，水质极易恶化。

（2）空间因素。影响水生态的空间因素有经纬度、气候、地理环境、河床、地质等。

（3）人为影响因素。在长期的水资源开发利用过程中，滨江地区许多河流已经改变了自然形态和水流特点。因此，生态学指标需要考虑人为因素的影响。

水域生态系统是一个复杂的系统，涉及诸多因素。建立水生态评价指标，不仅要考虑时空因素、人为影响等单因素，还需要考虑各种因素的综合影响，体现生态系统的统一性

和整体性。

21.4.2 滨江地区水生态评价指标体系

为了能体现和量化滨江地区水生态的主要特性，便于规划目标的定量化，根据区域水生态特征，参考国内外有关资料，初步提出水生态和水生态系统安全指标。

21.4.2.1 水生态指标

1. 水域面积率（水面率）

所谓水面率是指承载水域功能的水域面积占区域总面积的比率。其中，水域功能是指水域直接提供可利用的水源、调蓄区域水资源、水产品生产、降解污染物和吸纳营养物质、保护生物多样性、休闲旅游、航运、调节气候等功能。从管理的角度，水域是指现状或规划条件下，具有一定规模的承载地表淡水水体的区域范围的总称。它直接关系到空气的湿度和温度，人居环境的适宜度以及亲水度，是水生态的基本指标。

水面率虽是指区域水域面积占区域总面积的比率，但同一水域其水面面积随水文年份、季节、水文气象条件等变化而动态变化，其相应的水面率也是一个动态变化的过程。因此，在确定适宜水面率时，要考虑时间、空间和人类需求等因素。从时间来看，在数百万年的演变过程中，自然水域对人类的起源和进化作出了重要贡献。而现在我国除了西部和西南部边远地区的少数河流外，几乎找不到没有人类活动痕迹的自然河流。因此，评判水面率合理与否要基于当时水资源开发利用水平和人类认识水平。从空间来看，不同地区自然条件千差万别，经济社会发展水平各异，水域承载的功能也不尽相同。一般说来，山丘区合理水面率可以低一些，平原河网地区合理水面率可以高一些。所以，应因地制宜地经过充分调查、科学分析、详细论证，提出符合滨江地区自然及社会经济条件的适宜水面率。从人类需求角度，人类进步和经济发展不仅对水资源的需求不断增加，还对防洪排涝兴利的标准不断提高，相应的适宜水面率标准也要随之变化。总之，水面率的合理性是相应于一个既定目标来说的。对于某一区域而言，在特定时间和现行有效的规范标准下，可以确定既定目标，但随着时间的变化和规范标准的调整，既定目标也要随之变化。因此，合理水面率提出的作用是从某一区域的现状和现行有效法律、法规、规范、标准出发，考虑水域的多种功能，提出一项指标，评估在自然力与人类活动双重作用下人类社会和水域自身的协调发展程度，进而通过水域管理工作，促进人类与自然的协调发展。

2. 水环境指标

水环境指标包括水质、截污面积率、河道清淤率、水功能区达标率、水体生态工程处理率等具体指标。水质是反映水体质量的定量标准，主要采用 COD 和污水处理率来反映。其中，COD 是水污染的主要指标，是“总量控制”的重要指标；污水处理率反映污水治理的程度，决定着进入水体污染物的总量。水质状况决定了水体能发挥什么样的功能和发挥功能的大小，污水能危害生物的生存，降低水的生态功能。水体生态工程处理率是指采用生态工程处理污水的量占全部污水处理量的比率。

3. 湿地指标

湿地指标包括湿地面积、湿地水面积比率等，它反映湿地调节气候等生态功能的大小。

4. 植被覆盖率

植被覆盖率指植被面积占区域总面积的比率，它影响着涵养水源、调节气候和防止水土流失的能力，是一个地区生态基础设施的反映。

5. 岸带植被覆盖率

岸带植被覆盖率指河、湖岸边的植被面积占岸边总面积的比率。它反映了河流和水环境受植被保护的程度。

6. 地下水指标

地下水指标包括浅层地下水埋深、超采面积和超采率等，它反映地下水资源状况和地下水生态受损程度。地下水作为一个地区的优质水资源，应从可持续发展角度尽量保留，集约使用。

7. 水生态功能保护区面积率

指水生态功能保护区面积占区域总面积的比率。该指标反映了水生态功能区受保护的情况。

8. 水域生物多样性指数

以水域中生物种类的数量表示。可以反映生物多样性水平的高低。

21.4.2.2 水生态系统安全指标

水生态系统安全指维护水生态系统的完整性，增强其自然服务功能，以保证各种自然生态系统的活力，保护生物多样性。其评价指标有环境安全指标和生态系统安全指标。

1. 环境安全指标

用水资源需求量占整个区域水资源总量的比例表示。该指标越大，表明留给生态系统和环境的用水越少，环境也就越脆弱。这个指标一般呈逐渐增大的趋势。

2. 生态系统安全指标

指用于保持自然生态系统及其服务功能的能力。这些服务功能包括在基因、物种和生态系统水平上多样性的保护，野生动植物的保护等。根据我国的情况，以人类使用的水占可用水资源总量的比例为指标。为了保持生态系统的健康，取该指标的安全界限为19%。超过该值，为超过了安全界限。由于人类使用的水量将逐步增加，用于自然生态系统的水分将继续下降。

21.5 滨江地区水生态系统调控模式及其实现途径

21.5.1 滨江地区水生态系统调控模式

滨江地区水生态系统的演变过程是自然环境变迁和人类社会发展叠加的结果。实现滨江地区水生态系统的稳定、有序发展，既要通过采取生态工程措施对水生态进行保护性开发和调控，还要通过宣传教育使人们养成良好的用水习惯，将可持续发展观、生态伦理观、市场价值观运用到滨江地区水生态系统调控中（图21.4）。由于社会经济、水资源利用和污染排放的动态性，对滨江地区水生态系统需要实行管理目标动态调控机制。动态调控机制主要表现在用水功能区更新和水生态保护目标增强，然后反馈到功能定位。

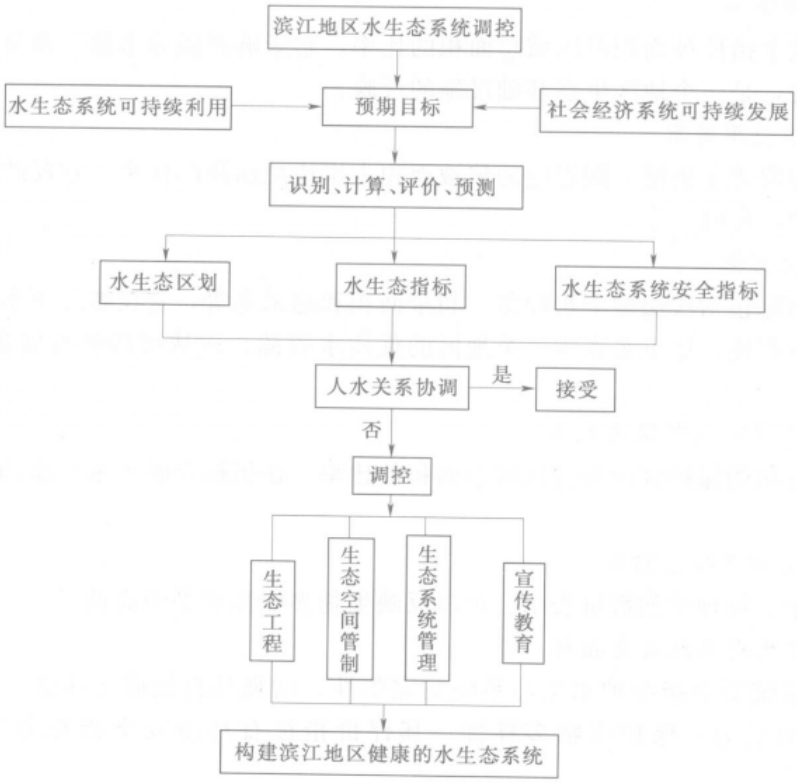


图 21.4　滨江地区水生态调控模式及实现途径

21.5.2　滨江地区水生态系统调控途径

滨江地区的水生态调控主要可通过以下途径实现。

1. 遵循人与自然和谐的发展观

人与自然和谐发展是人类持续发展的根本需要，这是工业革命以来人类发展经验的科学总结。历史经验表明，当人类与自然处于破坏、对抗关系，以改造和征服自然为目标的时候，自然总会以其特殊的方式报复人类；当人类与自然处于平等、互利、和谐关系的时候，自然也能为人类提供祥和、良好的生存和发展环境。人与自然和谐发展观提倡人与自然的关系不断优化的前提下，实现经济效益、社会效益、生态效益的有机协调，从而使社会的发展可持续。区域水资源的可持续利用对区域社会、经济与生态环境的协调发展具有不可替代的作用。

2. 遵循生态伦理观

运用生态伦理观分析水生态问题包含着深刻的关于认识人水关系的哲学内涵。滨江地区水资源的开发利用应采取谨慎态度，对区域人水需求应有适当的约束，并给后人留下一定的生存和发展空间。对水资源时空分布有限的区域限制、调节和控制用水行为，以保证区域水环境安全的良性循环。

3. 保护滨江地区水生态空间，重构水生态格局

人类为自己生产生活资料的过程，实质上是对自然资料的消费过程。人类活动对水生态系统的影响超出一定的度就会对其造成危害。因此，滨江地区水生态问题归根结底是人

类活动对水生态系统的干扰问题。解决问题的关键是对人水关系进行反思，重新确定水生态过程在区域生态系统中的位置，变革人类活动对水生态系统的影响方式，重构水生态格局。

滨江地区人类活动不应破坏水生态系统的整体性及其普遍联系。要保护基本水文生态过程，维护水生态系统的稳定性，保护有限的水生态空间，保证人类对水生态系统的持续利用。

4. 运用生态工程

马世骏在系统生态学理论基础上，吸收了中国传统哲学中的有益部分，根据我国生态工程实践经验，将生态工程基本原理总结为整体、协调、自生、循环等。这些原理是利用水生态工程的基础与指导原则。

生态工程的最终目标是财富、健康和文明的综合。财富用来测度经济资产、自然资产（矿物、水、森林、土壤、空气和生物多样性）、社会资产（人力和智力）、文化资产（制度、艺术等）的结构状态；健康用来测度功能状态，包括：人的身心健康、生态系统健康；文明用来测度行为模式，包括：价值观、物质生活态度（生活方式、消费习惯、循环利用的传统和生态伦理学）和精神生活态度（传统、风俗、观念、想法、概念、价值和信念）。系统负责的规划、总体整合的工程和富有生机的管理是包括水生态系统在内的生态环境可持续发展的 3 个决定因素。

5. 实施水生态空间管制

以水生态分区和水生态系统评价为基础，确定水生态系统保护等级，实施水生态空间管制。结合水生态系统评价确定水生态系统保护等级，通过水生态系统保护等级确定三类生态管制分区。这三类生态管制区分别为重要水生态保护区、水生态脆弱区和污染重点控制区。

（1）重要水生态保护区（禁止开发区）。该类区域高程控制在 100m 等高线以上，坡度大于 25°，地貌形态以丘陵山地为主，包括源头水源涵养区、集中式饮用水源地、水源地、自然与半自然状态的洲滩及堤外湿地；属国家一级保护的生物等处于生态核心地区的，极其重要的生态保护区。区内禁止进行任何类型的城镇与产业开发，注重水生态环境保护，保持原生态状况，并且以提升自然水生态系统服务功能为目标。

（2）水生态脆弱区。分析水生态系统能否满足其自身的发展和演替，以能否维持水生态的结构、功能和演化趋势作为判断和表征的依据。其指标为水生态敏感性和人类干扰程度，前者是流域水生态的内在脆弱性，是水生态系统与集水区地质水文过程共同演化的结果；后者是人类活动干扰生态环境的强度。该类区域高程控制在 10～100m，坡度小于 25°，地貌形态以平、缓高岗地、丘陵坡麓地带为主。区内不宜大规模开发建设，控制高密度房地产开发及建设乡镇工业园区，以保护基本农田为主，大力发展都市型生态农业及农业观光旅游产业。重点解决农村饮用水源及抗旱灌溉用水的保障问题。创造清洁优雅、生活富裕、水生态良好的发展环境。

（3）污染重点控制区。综合考虑点源与非点源污染，在现有环境监测及评价数据的基础上确定污染重点控制区。污染防范主要涉及沿江的工业集中区、经济技术开发区、区域重点排污企业的稳定达标排放及持久性有毒有害污染物控制；污水处理厂废水达标排放；岸边污

染带长度控制不超过岸线的10%；提升防洪堤迎水坡、背水坡防护林带污染净化能力。

该分区用以突出生态保护的重要性与优先性以及促进生态保护与开发建设协调关系在空间上的落实，从而协调人与水生态的关系。

21.6 滨江地区水生态系统调控的工程措施

根据对典型滨江地区水生态规划和调控的实践经验，认为滨江地区水生态调控措施可以归纳为六大工程，即自然水系的保护、恢复与整治工程、重要水生态功能区的保护工程、湖库污染防治和富营养化控制工程、污水生态治理工程、面源污染的生态防治工程以及水安全生态保障工程。

21.6.1 自然水系的保护、恢复与整治工程

自然水系的保护、恢复与整治工程有利于保护滨江地区的水面率和改善地区的水环境。该工程主要包括以下内容：

(1) 保护河、湖水网，不要将其填埋、堵塞或使其成为城市的排污排洪通道。对于已填埋的水系，应有计划地恢复或采取置换方法以保证滨江地区水面率不受影响。

(2) 保持水系规划的连续性。水系规划的连续性要满足建设完整的城市至农村的水生态廊道，形成区域水生态支持体系，完善水生态功能的整体性要求。对于研究确定拟新开的河、湖和水系拓宽工程要及时落实实施。

(3) 保持河道的自然性。河道是水生态的重要载体，应在满足泄洪要求的基础上尽量保持其自然特征进而保持水流的多样性。保持河道的自然性，包括保持河道自然边坡，并种植草皮和水生植物；维护与恢复河、湖自然水网格局，恢复其自然属性等方面。恢复后的自然生态河道可作为生态廊道为水生、两栖动物创造优良的栖息繁衍环境，既有助于保护河道的水生态环境，又有利于提高河流自净能力。

(4) 对处于自然状态下的洲滩，应尽量保留。为了发挥自然洲滩的调蓄、生产和生态效益功能，应禁止盲目围垦、开发。尽快查清自然河、湖、湿地退化的现状，预测其退化趋势，调整和恢复湖泊湿地，提高湿地保护与开发的科技含量，寻求湿地资源持续利用优化模式。

(5) 加强河流生态修复。河流生态修复是指将受人类干扰而退化的河流恢复至原来没有受干扰的状态，或者恢复到某种合适的状态。河流修复的目标是通过修复河流使其达到自然状态，实现河流多种服务功能。可采用以下8项措施进行生态修复：①恢复缓冲带；②重建植被；③修建人工湿地；④降低河道边坡；⑤重塑弯曲河谷；⑥修复浅滩和深塘；⑦修复水边湿地；⑧修复池塘。

(6) 提倡采用生态护坡。河道工程设计要符合生态学原理，新建护坡提倡采用生态护坡，已建护坡在整治过程中建议改为生态护坡。对生态护坡要求是既保证堤岸的防洪作用，又不能破坏河道的生态功能，并且有利于鱼类和水生生物栖息与繁殖。保留节制闸，通过引进排出来调节内河水质，起到河道活水作用，进而达到保护水资源、水环境的目的。除主要引排河道、等级航道外，河道整治应以拓宽、疏浚方式为主，尽量减少裁弯取直。加强绿化，搞好水土保持。逐步实施工程防护和植物防护，在有条件的河岸全面恢复由乔、灌、草、挺水、浮水和沉水植物组成的自然生态系统。河道两旁种植乔、灌结合多树种混交的林带。

(7) 实行水利设施的科学管理。通过水利工程的优化调度，加快水体的流动，降低淤积速度，恢复、提高河流自净能力，改善河道的通航条件。

21.6.2 重要水生态功能区的保护工程

以水生态区划为基础，确定滨江地区的重要水生态功能区，并对其加强保护。重点保护好集中式饮用水水源地，严禁有毒有害污染物的排入；在饮用水源一级保护区内，严格控制污染项目的建设，同时开展绿化造林，生态恢复工作。与节约用水紧密结合，推广清污分流和污水资源化；加快治理工业污染源，在达标排放的基础上，进一步削减污染物的排放量；加强生活污水的处理，加快建设污水处理厂，提高污水集中处理能力。

重要水生态功能区沿线要逐步绿化，城镇创建公共绿地和防护绿地，农村建设生态绿地。对位于城镇规划范围内的河段，一般在两岸分别布置不小于 5m 宽的绿化带，并与防汛通道相结合。对于位于农村地区的河段要在两岸各建设 5～20m 宽的绿化带。农村河道两岸绿化树种以乔木为主，并尽可能选择常绿且有经济价值的树种。

21.6.3 湖库污染防治和富营养化控制工程

滨江地区湖库系统防污和防止富营养化的控制应按照良性水生态系统平衡原理，结合区域水生态特性，合理构建湖库生态系统，使湖域内水生动物与水生植物形成合理的生物循环链，维护良性的水生态机理（图 21.5）。

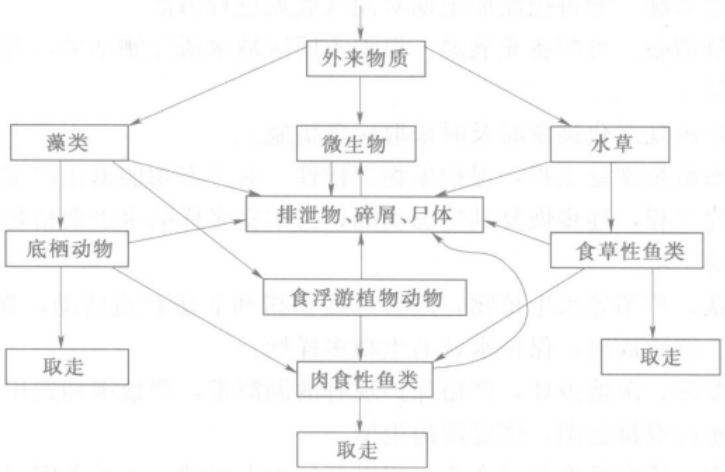


图 21.5 湖泊、水库水生态系统图

保护好沿湖湿地，建设人工湿地污水处理生态工程。利用湿地对污染物，特别是营养物进行拦截、吸附、吸收，减少输入水体中的污染物和营养物的量。在水体中种植一些水生植物，培植芦苇等挺水植物，培育小叶浮萍等浮游植物和沮草等沉水植物，对入湖污水进行生物净化。定期对水体中的动植物进行定量的收割、捕捞，达到移出污染物和营养物的目的。

水生植物布置遵循以下原则：

(1) 植物种类应适合湿地，并注重种类的多样性，多考虑采用地方种。

(2) 满足水体生态净化的要求。

(3) 兼顾景观要求，配置不同高度、不同形态的植物。在水体中放养一些水生动物，

对湖泊水产养殖实行优化和推广生态养殖。

水生动物选择遵循以下原则：

（1）不会大量繁殖，甚至失控。

（2）不会对水体形成强烈的搅动以至影响其他水体景观。

对其水源水质控制可从水污染源控制和雨水径流的污染控制两方面进行。外源污染物控制要搞好上游污染点源治理工程和农业面源污染的治理工程，减少水体污染，保证入湖水质清洁。控制内容包括：

（1）旅游污染的控制。

（2）周围生活污染物的控制。

（3）工业、农业污染物的控制。

（4）周边生态系统的建设。

在湖内积极开展治污工程，恢复水生态系统的自净能力，加强环境保护监督力度。湖域内部控制可采取以下措施：

（1）水体循环措施。包括水体置换方案、考虑局部供水、建立环流、设置动力暗管等。

（2）生物措施（建立水生生态系统）。根据自然水体的水生态系统构成，按良性水生态系统的平衡原理，构建水生态系统。

（3）水底清淤措施。配备挖泥船定期对湖区底泥进行清淤。

（4）水体复氧措施。可配备充氧船，根据不同区域水质监测结果，对溶解氧含量低的区域随时进行充氧。

（5）当水环境出现恶化迹象时及时采取应急措施。

开展湿地生态系统恢复工程，保护生物多样性。对生态功能退化严重的区域，通过湿地生态恢复和重建工程，逐步恢复其生态功能，为丰富多样的水生动植物、珍稀鸟禽和其他鸟类创造良好的生境。

严禁毁坏莲藕、芦苇等水生植物，严禁过度捕捞和非法狩猎活动，保护鱼虾产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道，保护水域的生物多样性。

为防止湖泊萎缩、湿地破坏，严格保护现有的湖滨带，严禁围湖造田，对影响和破坏湿地生境的农田实行退耕还湖，恢复湿地生境。

调整生产结构，适度发展第三产业，积极开展生态旅游，在妥善安排湖库区居民生活的基础上，搞好生态环境整治工作。

湖滨带生态建设的途径包括：

（1）发展生态农业，减少农田污染。

（2）入湖河道沿岸两侧建设河岸林带，成为农田与河流间的缓冲带。

（3）加强沿岸丘陵的水土保持。

（4）充分利用湖泊湿地的净化功能，作为治理湖库富营养化的有效措施。

（5）选择入湖河道河口，在试验基础上建立人工湿地。

21.6.4 污水生态治理工程

现代化城市不但要建设必要的城市水网，而且要具有优良的水生态环境。因此，治河必先治污，把还清澈水体于河道作为治河的首要目标。只有在还清水体、保证优良的水质

后，才可谈到河道景观美化。从一定意义上来说，水景观设计就是综合运用物理、生物的多种手段修复水体，治理水环境，变工程治河为生态治河。主要生态措施有：种植高等水生植物，配备其他的水生植物群落，包括湿生植物、挺水植物（如芦苇、菖蒲）、浮水植物等；放养一些水生动物，但不施加肥料或饵料。利用植物吸收水体中的营养物质，利用动物消耗水中的植物，使水质得到改善，水体透明度提高，水生动植物多样性得到自然恢复，使富营养河道水体变清。到适当时期，对种植的植物和放养的动物进行收割和捕捞，间接移出有机污染物质，从而实现控制水体质量的目的。

21.6.5 面源污染的生态防治工程

滨江地区面污染源具有覆盖面大、性质复杂、对水环境污染贡献率大、控制难度远大于点污染源的特点。具体可从以下几个方面进行防治。

（1）农田肥料流失防治。可通过科学合理施肥、提高化肥利用率和改进施用肥料结构、减少农田中营养元素流失量两个途径进行。

（2）农药污染防治。可通过以下途径防治：①应用生物农药或高效、低毒、低残留农药代替化学农药，如沼液，除虫菊酯类农药、苏云金杆菌等微生物农药等；②推广生物防治技术，减少农药施用量；③调整作物品种，引进和发展抗（耐）病虫害的品种；④调整农业种植系统。

（3）畜禽粪便污染防治。可从管理和技术两个方面进行控制：①管理控制，包括合理布局、设置隔离带，控制饲养密度和严格执行三同时制度；②技术控制，包括耦合养殖业与畜禽粪便综合利用的产业，建立以养殖业为基础的生态工程［如建立种植业、复合肥料生产业、食用菌培育、生物质能（如沼气）等与畜禽养殖业紧密结合的生态工程］；加强环境调查、监测，并制定相应标准；粪便资源化与综合利用等。

（4）秸秆污染防治。包括：①加强管理，建设秸秆存放场所；②秸秆综合利用，如秸秆还田，秸秆饲料化，过腹还田，秸秆作为能源、作为工业原料应用等。

（5）生活垃圾处理和利用。措施包括：①加强垃圾收集系统建设；②生活垃圾的减量化、无害化、产业化、资源化处理；③建立垃圾综合处理示范工程。

（6）城市面源污染控制。措施包括：①结合城市建设和改造，改善居民区的基础设施；②加强城市绿化和美化。

（7）水上交通污染防治。水上交通污染控制战略的重点在于管理，通过管理将偷排污水、乱弃废油及可能的事故性排放降低到最低程度。

21.6.6 水安全生态保障工程

水安全主要从3个方面考虑：一是饮用水安全；二是防洪安全；三是水生态安全。对于饮用水安全，除了加强饮用水水源地的保护外，还要建立战备水源地，实施多点供水。对于防洪安全，在逐步改善水生态系统服务功能，提高生态系统的缓冲能力的同时，在经过科学论证的基础上，开展一些水利工程设施建设，以减轻水灾的危害，为国民经济的可持续发展和人民生命财产提供安全保障。对于水生态安全，要加大水生态保护力度，科学整治水系，恢复和构建健康水系，重视生态水利建设，确保水资源的生态安全，建立水生态安全预警系统，进行高效有序的水资源管理。

第 22 章　滨江地区水景观建设的理论与模式

22.1　滨水景观概述

22.1.1　景观的概念

1. 景观的原意

景观最初的含义是指一片或一块乡村土地。16 世纪末，“景观”主要被用作绘画艺术的一个专门术语，泛指陆地上的自然景色。17～18 世纪，景观一词开始被园林设计师们所采用，他们基于对美学艺术效果的追求，对人为建筑与自然环境所构成的整体景象景观进行设计、建造和评价。从景观原意中可以看出，它没有一个明确的空间界限，主要突出的是一种综合的和直观的视觉感受。

2. 地理学中的景观概念

19 世纪初，近代地理学的创始人洪堡将景观概念首次引入地理学，即“自然地域综合体”，具体是指由气候、水文、土壤、植被等自然要素以及自然现象组成的地理综合体，在地表的一定地带内典型地重复出现。

3. 景观生态学中的景观概念

自 20 世纪 30 年代特罗尔提出“景观生态”一词以来，景观的概念被引入生态学并形成景观生态学。特罗尔认为景观代表生态系统之上的一种尺度单元，并表示一个区域整体，而且作为地球表面的实体存在。福尔曼进一步将其定义为空间上镶嵌出现和紧密联系的生态系统的组合，其空间尺度大体在几平方公里至几百平方公里。在更大尺度的区域中，景观是互不重复且对比性强的基本结构单元。景观是处于生态系统之上，大地理区域之下的中间尺度，兼具经济价值、生态价值和美学价值。

可见，景观的最初含义主要关注景观的视觉特性和文化价值，地理学和景观生态学将其进一步拓展，以“地域综合体”的理解作为它们共同的概念基础。但地理学主要关注景观的要素（气候、地貌、土壤、植被等）特征和景观形成过程。而景观生态学以构成景观的空间单元间的组合和相互作用作为主要研究内容，视景观为地方尺度上、具有空间可量测性的异质性空间单元，同时也接受地理学中景观的类型含义（如城镇景观、农业景观）。

总之，当前对景观概念的理解主要有：①景观由不同空间单元镶嵌组成，具有异质性；②景观是具有明显形态特征与功能联系的地理实体，其结构与功能具有相关性和地域性；③景观既是生物的栖息地，更是人类的生存环境；④景观是处于生态系统之上，区域之下的中间尺度，具有尺度性；⑤景观具有经济、生态和文化的多重价值，表现为综合性。

22.1.2　景观类型

当今地球上不受人类影响的、纯粹的自然景观日渐减少，而以各种不同的人工自然景

观或人工经营景观占据地表主体。景观不单纯是一种自然综合体，在与人类相互作用的过程中，被人类注入了不同的文化色彩，因此景观有自然景观和文化景观之分。按照人类活动对景观的影响程度可将景观划分为自然景观、管理景观和人工景观。人工景观又可分为以下几种类型：农田景观、城市景观、乡村景观和城乡景观。比较理想的、有生命力的景观是指具有很高的生物多样性和高生物产量，而只需较低能量维持，并且抗干扰性强的生态系统的组合。

22.1.3 水景观的内涵

水景观包括水体景观和滨水景观两部分，往往统称为“滨水景观”。滨水景观既不是纯自然现象，也不是单纯人为活动的结果，而是自然与人类活动相结合的产物，是人居环境中的一个景观元素。它主要是由河流和滨河植被组成的河流廊道，其次还有一些点状水体，如湖泊、水库等，它们构成区域景观的自然水体斑块。河流廊道是指沿河流分布而不同于周围基质的植被带和线状水体，包括水体、水体边缘、河漫滩、堤坝和部分高地。

滨水景观是城乡人居环境中最具生命力的景观形态，是天然的生境走廊，高质量的城市绿线。滨水景观属于环境敏感性景观，是区域景观的生态基础。若以人类社会的功能需求为立足点，景观可分为城镇居住与工矿景观、农业景观和自然与自然保护景观，滨水区景观则以自然和自然保护景观为主。

22.1.4 滨水区的概念

滨水区是指人居环境中水域与陆域相接的一定范围的区域，即与江河、湖泊、海洋毗邻的土地或建筑，其特点是水与陆地共同构成环境的主导要素。在人口密集地区，滨水区是人类活动与自然过程共同作用最为强烈的特定地带之一。就城市人居环境而言，滨水区是城市中自然因素最为密集、自然过程最为丰富的地域，也是受人类活动和城市干扰非常剧烈的地域。

滨水区的空间范围包括“200～300m 的水域空间及与之相邻的城市陆域空间，其对人的诱致距离为 1～2km，相当于步行 15～30min 的距离范围”。《城市滨水开发》的作者道格拉斯认为，在大多数情况下，滨水区的陆域一侧范围的界限是与地形条件、铁路、道路等物理障碍相一致。现实生活中，滨水空间的范围是一个动态的概念，它受其水体宽度的影响和廊道效应所辐射的范围影响，而水体廊道效应所辐射的范围随着城市范围的变化而变化，城市化又不断导致城市范围的变化。在实际工作中，滨水区范围可根据具体规划开发建设项目的要求来确定。

滨水区的传统首要功能是用于满足防洪、生产、居住等功能，其次是主动或被动的娱乐需求和资源保护。滨水区景观体系本身是一个区域的自然廊道体系，因此水系和生态绿地的分布格局决定了该地区的自然廊道空间格局，随着社会经济的发展，滨水区最大的优势就是担负起城乡景观生态保护和满足城乡居民游憩休闲的高层次需求。

22.1.5 滨水景观的特点

与其他景观系统相比，滨水景观有其自身的特点，主要表现在。

1. 滨水景观是高对比结构景观

所谓高对比结构景观，是相邻景观要素彼此差异很大，其间过渡带很窄或缺失。滨水区的自然景观是在自然机制下形成的高对比结构。人类活动可在大面积均匀基质内建立一

个高对比度结构的景观，如在水面上建坝、造桥，将自然河道渠化、硬化等，或人类活动形成的高对比度景观结构镶嵌在自然形成的景观内。

2. 水体在景观结构中占有较大比重，处于核心地位

水体的物理环境、生态环境直接影响到滨水景观功能的发挥。如果水体为线状，则形成以线状廊道为核心的滨水景观体系；如果水体为点状，则形成以点状水体为核心的滨水景观体系。

3. 各种生态过程复杂，生态系统脆弱

滨水区处于水域与陆域的生态交错带，是自然要素最为密集、自然过程最为复杂的地域。这里不仅有水滨空气环流过程、河流水文地貌过程、水滨生物过程，还有各种人类活动的影响，物质流、信息流、能量流等交换过程十分复杂。水是具有一定承载力的，水域的各种自然过程都有与之相适应的自然形式，由此决定了水域景观生态系统具有较强的生态敏感性，任何不当的开发利用都可能导致水域生态系统的崩溃，生态系统较为脆弱，敏感性较强，抗干扰能力弱。由于它处于边界地区，人们对其性质和功能的了解相对其他地域要少得多。对其开发不仅要考虑交错带本身，而且要考虑对毗邻生态系统的利弊。

4. 人类活动影响深刻

人类文明都起源于滨水区，如尼罗河的古埃及文明、地中海流域的古希腊文明和黄河流域的华夏文明。滨江地区人类活动使一些永久性的人工建筑如水库、桥梁等彻底改变原有的自然景观，使水系、植被等自然景观未得到保留。在人口密集地区，滨水景观受人类影响很大，原始自然的景观很少，大多为经营管理景观。人类活动对自然景观的作用方式多种多样。如从上游到下游，从支流到干流，修建水库、桥梁、道路等，到处都有人工控制的景观。人类活动强烈地改变了自然景观格局，引起生态交错带的变化和生物多样性降低。人类活动对滨水景观的作用具有历时的持续性和干扰程度的深刻性特点。

5. 景观功能多样

滨水景观是城乡景观的自然廊道，是重要的自然生态景观元素。滨水区不仅具有生境功能，而且水对调节气候、改善生态环境、方便生活、塑造景观形象、促进区域经济发展都有重要的作用，具有生态功能、经济功能和社会功能等；而且滨水区的功能还具有时代性，在古代水域的航运功能占有重要地位，而现代水域的景观功能、生态美学功能更为重要。滨水景观体系的功能单元复杂，而我国土地资源相对紧张，对滨水区的开发利用具有较大的优势和潜力。

6. 历史文化内涵丰富

特别是城市水域是一个城市发育最早的地方，具有丰富的历史文化内涵。如上海的苏州河沿岸，从历史名桥、名人故居、民族产业、革命纪念地，到宗教民俗、海派建筑、文人真迹等应有尽有，构成了城市发展的一种独特资源，形成了城市的标志和形象，是一笔宝贵的财富。

22.2 我国滨江地区水景观建设现状与存在问题

22.2.1 我国滨江地区水景观建设及研究现状

20 世纪 90 年代以来，我国许多地区的规划建设开始重视景观水系的规划和河岸的整

治与美化，滨水景观的更新改造和再开发呈日益增长的发展趋势。特别是许多大江大河流经的城市在人居环境的建设规划中十分重视河网水系的规划和河岸的整治与美化。人们的观念正在从滨水区资源消耗性利用转向资源保护和合理持续利用的发展模式。如上海市对苏州河的治理、沈阳市新开河带状公园的规划和建设、成都市环城滨河绿化规划、南通市濠河风景旅游名胜区详细规划等；广州市提出要把珠江广州河段建设得像法国塞纳河巴黎河段一样美丽的目标，具体包括提高堤防的防洪标准，改善两岸的交通、绿化环境，特别是美化河流两岸；成都市府南河的整治集防洪、排水、交通、绿化、生态、文化于一体，取得了很好的社会、经济、环保效益，提供了具有借鉴价值的城市水系景观的建设模式，是城市河流治理的成功范例，该项目获得了“世界人居奖”等3项国际大奖；濒临长江的武汉、南京、江阴、常熟等市已经或正在规划建设滨江风光带；天津市在海河的市区段实施了海河两岸综合开发改造，充分发挥海河的优势，形成独具特色、国际一流的服务型经济带、文化带和景观带。

在学术界，20世纪90年代以来，国内出现了许多有关滨水空间景观的研究论文，如孙鹏、王薇、金云峰、郭红雨、汤晓敏、吴文英等。综观这些研究，大多注重中、小尺度的滨水空间景观的设计以及单体景观元素的配置，处于设计阶段；提出了一些新的理念和设计原则，如环境优先原则、文脉原则、超大尺度空间原则、亲水原则、立体设计原则、遵从自然过程等。但这些研究缺乏把滨水空间作为一个特定地域、滨水景观作为一个整体的系统规划原则。由于设计更多地强调其美学欣赏价值，忽视其生态价值、历史文化价值，难以真正实现人与自然的和谐相处。

22.2.2 我国滨水景观建设与开发利用中存在的问题

尽管滨江地区具有水系河网资源丰富、水文化古迹众多、水旅游潜力巨大等优势，但由于认识上的局限性，目前在整治滨水区景观时，大多数仅侧重于某些功利价值，如防洪、水运、灌溉、生产等功能。开发理念与发达国家相比，仍有较大差距，比如盲目填埋河流，河道被硬化、渠化，导致城市景观、生态系统和水环境破坏、河流污染严重等。从生态学、人与自然共生、可持续发展等角度来考察和分析，目前我国滨水区的开发建设的实践存在以下一些主要问题。

1. 河湖填埋导致水景观整体性、多样性受到破坏

不顾及景观空间组合的整体性与尺度的合理性，大量填埋水系造田。填埋河道表面上看，填去污水，可以使环境变得卫生、清洁，多一份土地，多一块绿地；实际上在填去河湖的同时，破坏了水系自然结构形态和景观格局，填去了人居环境中最具生命的部分，进而影响了水系功能的发挥。如20世纪70年代大规模的围湖造田，我国长江中游洞庭湖、鄱阳湖和江汉湖群由于围垦湖滩使湖泊失去300亿 m^3 的贮水能力，使防洪能力降低一半左右。

2. 传统水利工程缺乏对滨水地区生态环境价值的重视

传统的水利工程措施将滨水空间作为工程实体来建设，虽然使滨水景观看上去显得很“整洁”、“干净”，但较少考虑人的心理和生理需求，忽略了许多缓慢或不易察觉的负面影响。滨水景观设计多采取传统的工程措施，如裁弯取直，石砌护坡，高筑岸堤等。在河道上筑马路、修建筑或者搞“美化”工程，尽管水仍在流，但河道被覆盖，以水为特征的生

态系统和开放空间被破坏，致使许多优美的明河变成了暗渠，原来流动互通的水系变成了支离破碎的污水沟，昔日流连忘返的独特环境变得十分平庸。为了防止河流塌岸、淤积，便于行洪、航运的方便，将河道裁弯取直，普遍采用水泥护堤、衬底。直立的岸线改变了自然形成的江河岸线的自然特征和重要功能，同时由于这样的岸线垂直陡峭，落差大，水流快，带来了新的安全问题，人们行走在岸边产生恐惧感，不能获得良好的亲水性，使滨水空间成为冷冰冰和缺乏生活情趣的人工堆砌体。将自然蜿蜒曲折的水系裁弯取直后以钢筋水泥护衬，把河床渠道化，形成光洁的水泥护岸，自然状态下的生物栖息地遭到彻底破坏，生物多样性下降。同时，水泥衬底和护衬之后，使水系与土地及其生态环境相分离，削弱了水体自净能力，水—土—生物之间形成的物质和能量循环系统被彻底破坏，加剧了水污染的程度。河床衬底后切断了地下水的补给通道，导致地下水水位不断下降。现代景观生态学研究已证实，弯曲的河道更有利于生物多样性的保护，平缓的河岸是河边水陆交错带得以维持的条件，有利于减少洪水的灾害性和突发性。

3. 人性化设计不足

由于临水堤岸的设计形态过于人工化、渠道化，缺乏自然度与亲水性，大部分河段的垂直驳岸没有可靠近水的埠头阶梯。人们不能接近河流水体，无法满足对亲水、戏水的各种天性。公共性与通达性成为形式，生活与河道相分离，河流在景观中起的娱乐作用与情感调节的人文生态价值日益减少，水域空间作为公共活动空间的特征日益消失。

4. 滨水空间绿地景观规划设计趋向人工化、单一化

由于受人工环境空间设计思维和手法的影响，在滨水空间绿地景观的设计方面，没有或很少考虑到河流的自然属性和自然风韵的内在要求，没有考虑滨水生态系统功能和结构上的特殊性。在水滨引入大量所谓“名花异木”的外地物种，影响了本地河岸植被群落的物种和结构稳定性，水滨的原生乡土植被受到排挤并最终被毁灭，导致整个水滨生态系统崩溃。有些局限于工程要求，以简化的人工绿化代替河岸自然植被。在滨水区植物景观的配置和设计上表现为滨水绿化层次极其单调，大面积人工草皮覆盖了河堤，一排高大的行道树沿河排列，原本丰富多样的生境被破坏殆尽。

5. 对滨水空间历史资源、文物古迹的破坏

在人居环境的滨水空间，往往汇聚了众多人类优秀的文化遗产，而这些遗产在大规模的滨水空间开发建设中，由于不考虑历史传统的文脉连续性，盲目照搬外国模式，往往遭到了毁坏，缺乏有效的保护，导致大量沿河独特的景观特色在改造中消失，其中包括各种具有水乡特征的景观元素，如塔、亭、廊、牌坊、井台、阶梯、小桥、廊桥、水上平台以及河岸临水而建的民居形式与街坊风貌。

6. 城市规划区内的河道功能亟须转变

随着我国滨江地区城市化进程的加快，已划入城市规划区的周边农村地区将成为城市的功能组成部分之一。在其处于开发建设初期阶段，由于建设行为主要集中于基础设施投入和工业地块开发，而河流水系格局或者仍是按农业生产的需要规划建设，或者是按照城市给排水模式全部人工化，缺乏对滨水景观规划和建设的重视，基础比较薄弱。如江阴市位于城市规划区内的锡澄运河、白屈港、应天河，随着城市建设的推进，通航功能将逐步被景观功能取代，需要随之进行相应的规划与建设。

滨江地区水景观规划建设产生这些问题的重要原因之一是缺少对城市滨水景观结构优化的基本理论及调控模式的科学研究。

22.2.3 国外滨水空间开发实践及发展趋势

实践方面，在过去的20多年里，由于环境意识、生态意识的增强，美国、欧洲和日本等一些发达国家对河流的管理开始强调“化学、物理、生物过程的协调管理”，主要围绕河流的保护措施、河流的污染控制、采用“近自然”法设计河道3个方面。20世纪60年代，发达国家广泛开展以充实改善水空间功能为目的的滨水区建设，拉开了大规模的城市水空间规划建设的序幕。如日本东京、横滨滨水区建设，美国巴尔的摩内港建设、华盛顿波多马克河绿带规划及日本各地的亲水公园建设等。瑞士、德国等国家于20世纪80年代末提出了全新的“亲近自然河流”概念和“自然型护岸”技术；日本在20世纪90年代初开展了“创造多自然型河川计划”；近年来荷兰提出“还河流以空间”的新理念，使河流在流量、泥沙输移、宽深比等方面达到动态平衡。可见，恢复城市水空间、还其优美、宜人、充满生机的原貌，创造适应现代城市生活的城市滨水空间形象，是当今世界城市滨水区建设的潮流。

纵观国外城市滨水区景观规划与开发建设的实践，其主要特点有：

(1) 体现了巨大的经济效益和社会效益。滨水区的游憩和集会功能可极大地促进当地经济、社会的发展。

(2) 建设独具特色的人居环境滨水区景观，赋予景观历史与地方文化内涵。

(3) 体现了生态规划的思想，表现为滨水区自然景观的恢复，如在设计中将河滨大片河滩地完整保留下来，以保护河滩湿地生态系统。规划设计的目的是为人们创造一个接近水面，集观景、休闲等多种功能为一体的滨水开发空间。

同时，国外滨水空间规划设计表现出如下发展趋势：①建设生态河堤；②恢复河流空间，这也是现代防洪规划的新理念；③控制污水直排入河是减轻河流污染的根本措施；④注重城市滨水空间景观规划与建设。

22.3 滨水景观构建的理论基础

正确认识滨水景观是做好规划设计工作的前提。对滨水景观的认识，不能仅仅停留在美学角度的“风景如画”上，而应该从景观生态学和“人与自然共生”的角度去分析、评价和规划设计，不仅要重视其美学观赏和游憩价值，更要重视其巨大的生态价值和文化历史功能。

1. 生态学

滨水区是典型的生态交错带，水滨空气环流过程、河流水文及地貌过程、水滨生物过程是发生在滨水地区最基本和最重要的3种自然过程，也是对城市等人居环境质量影响最大的3种自然作用力。滨水地区的生态优势体现在以下方面。

(1) 由于水陆下垫面的不同，对太阳辐射的吸收与反射程度也不同，大面积的水体吸收和存储了大量的太阳辐射能。由于水体的热容大于陆地，其升温和降温速率都远远慢于陆地，从而在两者上部出现空气环流，产生使人感到凉爽、清新、湿润的“水陆风”。特别是在夏季和低纬度地区，这种气候过程正是水滨区别于其他地区最为明显的一个气候

优势。

（2）滨水区的生物多样性和生产力很高，水滨的植被表现为物种丰富、结构复杂的自然群落形式。同时，河流也是最重要的生态廊道之一。生态系统中的能流、物流和物种常沿河流进行迁移，适应于这种生态过程，自然状态下的河岸带常表现为连续分布的绿色植被带，即景观生态学所定义的河流廊道。

（3）自然河岸具有对水量的自然调节功能。自然河岸是渗透性的界面，具有很高的孔隙率，这种形式使河流水体与河岸地下水体之间得以进行交换和循环，地下水可以不断补充河川径流，平衡河流水量，使自然河流具有水量的自我调节功能。

2. 景观生态学

近年来，景观生态学在土地利用规划、城市规划与管理、景观与区域规划、流域规划和管理等方面得到了广泛的应用，它尤其注重研究景观的结构和功能、景观动态变化以及相互作用的机理，景观的合理利用和保护等问题。景观生态学认为滨水空间为生态边缘区，它将水系沿岸的各种生态系统和景观组分联系起来。滨水景观是由自然景观与人工景观构成的复合生态系统，需要通过景观生态学原理和系统方法研究其结构、功能、动态变化以及相互作用机理和生态过程，而景观生态学既可以用于自然生态系统，又可以用于人工生态系统，因而成为研究滨水景观的理论基础。从可持续景观规划的要求出发，对滨水景观进行更为综合的研究，在滨江区域尺度上，利用遥感影像数据等获得一组有多种测度能力的指示因子值并结合其他相关基础数据和图件，通过地理信息系统以及优化模型的计算分析，在一定的时空序列组合上集成描述滨水景观的状态、变化趋势、功能实现以及与其他生态要素之间的相互作用关系，真正在景观水平上构建滨水空间的可持续发展预案。

景观生态学为滨江地区水景观研究提供了一种多尺度、多学科的综合研究方法，可以解决滨水景观复杂的科学和社会问题，从而为实施滨江地区水景观规划和管理提供科学支持。

3. 尺度理论

景观作为景观生态学的研究对象，是一种泛地域尺度概念，其特征通常会随着尺度变化表现出显著差异。滨江地区水景观具有明显的时空尺度效应。在空间上，可从区域和滨水区两个尺度进行研究。从区域尺度，将滨水景观视作区域景观中的一个组成部分；从滨水区角度，将滨水景观视作一个整体，分析研究其内部景观结构和格局。

针对滨江地区水景观中河流体系不同等级支流间的特定关联所体现的一种连续的跨尺度相关，按照河流景观研究尺度的相对大小不同，可以将滨水景观区分为小、中、大3种类型（图22.1）。

小尺度河流景观主要由河道、堤防和河畔植被所组成，通常进行河流景观环境规划设计的研究。中尺度河流景观研究可以是整个区域范围内所有河流的分布格局及生态效应的研究。从景观水平来看，区域应该包括城市和农村两部分。在这个尺度上将区域的河流作为一个整体，运用景观生态学及其他相关学科的知识和方法，进行河流景观生态规划，调整或构建合理的河流景观格局。大尺度的河流景观研究是在流域尺度上研究河流景观的特征和变化，着重通过流域内土地利用变化格局研究来分析流域的水土流失、人为干扰等情况，基于流域景观的异质性、整体性以及协调性等来进行区域景观的综合规划。滨江地区

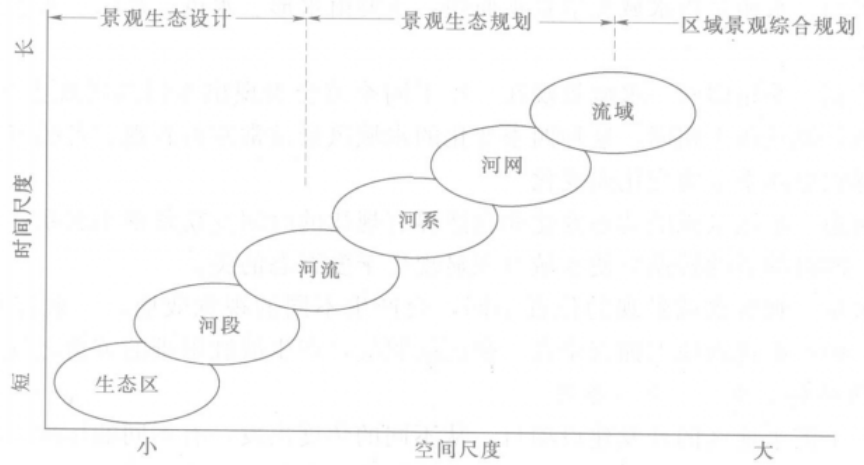


图 22.1　滨江地工滨水景观生态研究的尺度和内容

的水景观研究可分别从上述 3 种尺度进行。

4. 景观设计学

景观设计学是一门关于如何安排土地及土地上的物体和空间来为人创造安全、高效、健康和舒适的环境科学和艺术。景观设计学的方法论可以概括为：

(1) 理解人，尊重人，规划人的体验。美国著名风景园林规划设计师西蒙兹认为人们规划的不是场所，不是空间，也不是物体。人们规划的是体验——首先是确定的用途或体验，其次才是随形式和质量的有意识的设计，以实现预期的效果。

(2) 理解自然，理解人与自然的相互关系，尊重自然过程。景观规划设计另一个服务对象是自然，是那些受到人类活动干扰和破坏的自然系统。美国著名生态设计学家麦克哈格在《设计结合自然》一书中强调土地利用规划应遵从自然固有的价值和自然过程。

(3) 理解景观规划设计的社会环境，尊重人类文化，提高景观设计的认同感。景观规划设计所处的社会环境，当地人们的价值观、审美观、哲学取向都对其产生重要的影响。景观规划设计只有在把握了对人类社会文化的理解，才有可能使其作品得到大众的认同。

5. 景观美学

景观美学是研究有关景观建设和保护、利用和观赏、管理和发展的审美问题。景观美学是景观规划的核心，是其首要的出发点。

景观美学的设计原则包括：

(1) 环境协调。从景观美学的角度看，观赏景观必须是完整的有机体。这是因为任何一种观赏景观都是有中心、分主次的多层次结构组合。破坏了景观的完整性，也就破坏了景观结构组合的有机性，同时也就破坏了景观审美过程的完整性。

(2) 保持特色。各种景观都有其固有的，与其他景观根本区别开来的景观结构特征和审美特征，从根本上影响乃至决定了景观审美心理过程的差异。

(3) 时代精神。要根据景观审美构成和审美心理的特点，以时代精神去挖掘、突出、深入、丰富滨水景观中的固有特色。

对滨水景观来说美学特征体现在以下几个方面：

(1) 水相。水相是指水域美学景观面貌，主要由水形、水色、水味、水声、水影等要素共同构成。

(2) 季相。季相即同一水域景观在一年不同季节会表现出不同的景观美学特征。春、夏、秋、冬，风景各不相同，这种四季变化的水域风景常常左右着观赏者的审美心理，给人的意境感觉也随季节的变化而变化。

(3) 时态。水域景观的动态变化和自然界有规律的时间变化紧密相联系，昼夜晨昏的光影变化、四时季节的转换会使水域景观显现出千姿百态的美。

(4) 水位。观赏水域景观的位置不同，会产生不同的视觉效应。一般仰视会产生雄伟、宏大之感，俯视则使人拥有崇高、豪迈的胆气，产生战胜困难的英勇之气。

6. 经济学的成本——效益原理

衡量一个滨水地区的开发建设项目，从不同的角度出发，有不同的标准。从市政府的角度出发，一个项目是否成功有 3 个主要衡量标准：即是否有助于促进当地经济发展；是否有助于增加就业机会；是否有助于改善城市市容，反映政府政绩，增强市民对自己城市的自豪感。从市民的角度出发，一个建设项目是否成功，主要衡量标准是，公众是否有机会享受这个建设项目，若建设项目不能为普通市民所用，则公众舆论肯定不会认同。从开发机构的角度出发，一个建设项目的成功主要有两方面的考虑：一是经济上有足够的盈利；二是社会反映，成功的项目是开发机构最好的广告，而且得到社会承认是市场经济下任何一个商业企业的立身之本。

针对滨水地区的开发，借鉴世界各国成功的项目的做法，可以发现其开发动力及成功要素都与经济要素密不可分。经济要素贯穿滨水区规划、设计及其施工使用的整个过程中，经济理论渗透在各个环节。例如美国巴尔的摩内港区，从经济的角度讲，工程启动资金为 5500 万美元，到 1990 年，市政府每年已能获得税收 2500～3500 万美元，每年吸引游客达 700 万人，旅游消费达 8 亿美元，创造了 3 万个就业岗位。

22.4 滨水景观评价指标体系与方法

如何评价滨江地区滨水景观特质，确定景观建设的标准，是景观建设中的一个重要议题。在滨江地区的景观规划与设计中，不能仅仅把河道作为单一要素孤立地对待，而是应该将河岸两侧的土地利用方式、建筑物、街道等各种要素组合进去，共同作为景观整体一起规划。

22.4.1 滨水景观的组成

滨水景观按其空间位置，可分为水域、过渡域、周边陆域三部分。各不相同的水域景观、过渡域景观、陆域景观组成了丰富多彩的滨水景观。因此，其景观生态评价可从上述 3 方面展开。

水域景观主要包括河流、湖泊、水库、水塘等水面。由于河道水域通常是区域重要的景观廊道，所以，除考虑河道景观各元素间的尺度、比例、线形、形态等最基本的美学标准外，有必要根据景观生态学的原理，从河道景观固有的属性出发，把河道两岸作为景观廊道对待，把景观的多样性、整体性和连续性标准放在重要地位。除了水域景观外，滨水景观还包括沿河两岸各种景观元素与空间排列模式、多样性的景观单元与结构类型。在长

期的变迁与组合过程中，融入流域特定场所的各种自然（地理、水文、生物的）元素、人文元素（如城镇建筑、河堤等水利设施）之间在景观特征上的横向联系与内在一致性，显示滨水景观的整体特征。

过渡域景观是指岸边洪枯水位变动范围内的景观，它由河滩、河滨、湖滩、湖滨等组成，包括河岸宽度、走向、驳岸形式、河岸建筑、河岸绿化、河岸休闲园林设施等以景观为主的河岸线一定区域内的地面与地上的环境。在平原地区，湖泊和河流周边多为水草茂密的湿地、沼泽和大片的芦苇景观。发育良好的过渡域具有一定的结构，在自然条件下，这种结构的分布常呈现与水边相平行的带状。其微景观常以“水体—沼泽带—洲滩带—低湿地带—陆地”结构出现。其植被依当地的气候、土壤、坡度以及水体的富营养化程度和水文特点各异。过渡域是典型的水陆生态交错带，其景观和性质通常受水体和陆地两方面影响，它含有边界和梯度两个特点。和毗邻的陆地生态系统和水域生态系统相比较，水陆交错带中生物多样性、初级生产力、土壤腐殖质含量、对有机物质的降解速率都比较高。自然状态下的水陆交错带往往生物多样性高。植物种类丰富，净初级生产力高。鱼类种群、水鸟丰富多样。

陆域景观即河道周边环境，主要指河道沿岸的城市建筑物布局、道路走向、跨河桥梁、管道的布置以及其他公共设施的环境状况，它包括人们可以感受的视觉环境、空间环境、休闲环境等。按其类型可分为绿地、公园、广场、森林、农田、居住地、城镇、工矿区、港口等自然和人工景观。河流周边的陆域景观，受社会经济和文化的影响，主要由地理景观确定，在人口稠密区受人文景观的影响更大。在工业时代以交通运输、仓储贸易和工厂企业为主，在现代工业时代则以金融贸易、旅游文化、生态居住为主，使滨水区融合了生活、工作、休闲、旅游等多元化活动内容。其中，一个优美的岸边植被对于以旅游为主要功能的水域来说尤其重要，它不但为旅游者提供了美丽的景观，而且为垂钓者提供了优良的场地。流域范围内不同尺度的视觉单元之间，通过某种特定的（自然与人文）元素保持了景观的有机联系性，显示出沿河景观廊道在视觉上的连贯性。要积极维护河道两岸不同时期遗留下来的各种土地利用方式以及各种特征元素在历史演变过程中的承接与延续性。

“基质—斑块—廊道”是景观生态学的基本模式。斑块是指具有一定面积的自然区域，以维系一定的动、植物群体及涵养水源；廊道是指联系斑块之间的线性结构体；基质是指不同于周边地区的本区域所固有的物质属性。滨水区景观的所有景观要素都可以从空间结构特征上归结为斑块、廊道和基质等结构成分。其中，线状水体、沿河绿地、滨河道路等线状、带状景观构成滨水景观的廊道；块状水体可作为滨水区景观的基质，在滨水区景观中所占比重最大，也可看作是滨水景观的一个大斑块；而散布在过渡域和陆域中的各种自然景观和人工景观则为斑块。滨水景观的整体结构或格局就是这些不同属性的斑块、廊道和基质的分布模式。结合景观要素的属性，针对斑块和廊道的空间特征，及其在景观整体中的空间配置，探讨它们对景观整体生态过程的控制和影响机制，可以为景观生态规划提供重要理论依据。

22.4.2 水域景观生态评价

水域是滨水景观的基础和核心，它决定了一个地区滨水景观的结构与格局。分析评价

指标主要包括河流廊道和水系网络的相关指标以及河流结构的指标。

1. 河流廊道的度量指标

河流廊道是指河流本身以及沿河流分布而不同于周围基质的植被带，它包括河道、河道两侧的河漫滩、堤坝和部分高地。河流廊道是重要的生态廊道之一，它不仅发挥着重要的生态功能，如栖息地、通道、过滤、屏障、源和汇的作用等，而且为城市提供水源保证和物资运输通道、生物保护与景观等多种生态服务功能，以其巨大的自然、社会、经济与环境价值推动了城市的发展，为城市的稳定性、舒适性、可持续性提供了一定的基础。

河流廊道空间结构特征的度量分析指标主要包括廊道长度和宽度、廊道曲度、廊道连通性、廊道的宽长比、廊道的周长面积比、廊道密度指数、廊道非均匀度和间断等。长度与宽度指标描述河流廊道的线性特征，它们均随河流的大小而变化。长度确定廊道与基质接触的程度，宽度确定廊道对基质的干扰和对动植物阻隔的程度，宽度效应对河流廊道的性质起重要的控制作用。曲度即廊道的弯曲程度，它对景观中的物流、能流起重要作用。弯曲的河道与自然或人工取直后的河道对岸线侵蚀、航运、生态等方面的影响明显不同。裁弯取直后河流长度减少，河岸侵蚀和水质污染加剧，泥沙淤积加重，河流生态功能退化。连通性是指廊道的空间连续程度，它可用廊道单位长度上间断点的数量来表示。廊道有无断开是确定其通道和屏障功能效率的重要因素，因此连通性是廊道结构的主要度量指标，与河流廊道的功能发挥有重要关系。间断是连续分布的廊道沿线的一些断开区。周长面积比是判定廊道形状的主要指标，与景观中的其他斑块相比，河流廊道具有较大的周长面积比。密度指数指廊道景观在研究区单位面积内的长度，它主要描述廊道的疏密程度。

2. 水系网络的度量指标

河流廊道相互交叉，交叉点称为结点。河流廊道与结点相连，互连的廊道构成水系网络。水系网络的空间分析指标有连通性、环度、网络结点、网状格局、网眼大小以及廊道密度等。网络连接度是廊道与系统内所有结点的连接程度，目前主要采用 γ 和 α 指数来计算。

γ 指数是网络的连接线数与最大可能连接线数之比，即

$$\gamma = L/L_{max} = L/3(V-2) \quad (V \geqslant 3, V \in N) \tag{22.1}$$

式中 L——连接线数；

L_{max}——最大可能连接线的数目；

V——结点个数。

γ 指数的取值范围为 0～1.0，0 表示各结点之间互不连接，1.0 表示每个结点都与其他结点相联系，该指数越大表明网络的连接度越好。

α 指数是连接网络中现有结点的环路存在程度，又称环（通）度（circuitry）。它用网络中实际环路数与最大可能出现环路的比值来表示，即

$$\alpha = (L-V+1)/(2V-5) \quad (V \geqslant 3, V \in N) \tag{22.2}$$

式中 L——连接线数；

V——结点个数。

α 指数的取值范围为 0～1.0。0 表示网络无环路，1.0 表示网络具有最大环路。环路是指能为物流提供选择性路线的环线。网络内部“流”的作用可用来表征网络的功能，改

善景观网络结构，提升景观功能。

河流廊道功能的正常发挥既与其起源、受干扰的强度和范围、功能的变化有关，又与其宽度、连接度、弯曲度以及网络连通性等结构特征有密切关系，从而使河流廊道对城市景观的生态过程带来不同的影响。在城市水系规划中，采用定性与定量相结合的方法，通过对河流结构特征的分析以及 γ、α 指数的计算，可以发现现状河流廊道存在的问题，找出需要完善和提高的地方，反映水系网络在规划前后复杂程度的变化。

提高水域的舒适度就是要满足人的感官需求，概括来说就是眼、鼻、口、耳、皮肤等五感的需求。人们来到水域附近，看到的是美丽的风景，嗅到的是清新的空气和植物的芬芳，听到的是水的流动和鸟语虫鸣，能品尝到水的清甜，皮肤接触到水时感觉到的是爽快和舒适。这也可以说是广义的景观建设的目标。

22.4.3 滨水景观质量评价

现代景观环境规划设计将视觉景观形象、环境生态绿化、大众行为心理作为规划设计3个元素。河流景观的环境规划设计需要同时考虑河流的多种功能，从安全性、经济性、生态性、观赏性、亲水性、文化性等多方面研究河流景观的综合效果。

1. 生态价值评价

滨水区地处水域生态系统和陆地生态系统的交接处，具有两栖性的特点，并受到两种生态系统的共同影响，呈现出多样的生态性。滨江地区的水景作为整个区域复合系统中的环境要素，具有明显而重要的生态效应。水景观的生态效应评价根据自然度、自净度、亲水度、节水度、湿度调节度、温度调节度等来评定。

(1) 自然度。按护岸形式、水生植物情况，分为4等：

1) 优。接近自然驳岸；岸坡植被种类丰富，结构完整；水生植物的多样性高，生活型齐全，包括沉水、浮水（浮叶、漂浮）、挺水植物；水中有鱼类等水生动植物。

2) 良。仿自然人工硬质驳岸，自然水底；岸坡植被种类较丰富，具有一定的群落结构；水体中种植有水生植物。

3) 中。人工硬质驳岸；岸边植物种类单一。

4) 差。人工硬质驳岸及水底；少有生物气息。

(2) 自净度。按水体的自净能力分为4等：

1) 优。水体有完善的生态系统结构和功能，能对进入水体的有机质、营养盐等迁移、转化和输出，输入与输出平衡，依靠自净，能长期稳定维持水质良好Ⅲ类以上。

2) 良。水体的生态系统结构和功能，能对进入水体的部分有机质、营养盐等迁移、转化和输出，但输入稍大于输出，当采取措施使水质达Ⅲ类后，依靠自净，能维持一年内水质不低于Ⅲ类。

3) 中。水体的生态系统结构和功能，能对进入水体的少部分有机质、营养盐等迁移、转化和输出，但输入稍大于输出，当采取措施使水质达Ⅲ类后，依靠自净，能维持半年内水质不低于Ⅲ类。

4) 差。水体的生态系统结构和功能对进入水体的少部分有机质、营养盐等迁移、转化和输出能力差，输入大于输出，当采取措施使水质达Ⅲ类后，依靠自净，难以在2个月内维持水质不低于Ⅲ类。

（3）温度调节。是指水在夏天降低周边环境温度和冬天提高周边环境温度的调节效果，以水边距离50m的温度差度量。

（4）湿度调节。是指水对局部区域小气候湿度的调节效果，以水边和离水体50m的湿度差度量。

（5）水体臭味。指水中由于微生物活动频繁导致水体中溶解氧大幅度下降而散发出的异味。

2. 景观美学评价

现代神经生理学和心理学研究表明，人类审美的生理结构基础是感觉系统、周围神经系统和中枢神经系统。即人通过自己的视觉、听觉和触觉等，对水体及周围环境产生感知，从而获取水景观的相关信息，进而激发某种情感和兴致，也就是产生景观感应的人与自然形意相融的效应。景观感应的美学效应可归纳为以下几个要素的美学特征来诱发：水形美、水色美、水声美、水味美、水影美等。产生滨水美学效应的水景可用以下5个因子来评价。

（1）冬季美感度。是否使水景设计呈现出随季相变化的动态景观，尤其是解决冬季水景观的缺水问题。

（2）形态美感度。指水在光的作用下呈现出的不同色泽或反射天空、建筑和植物的色彩给人视觉上美的享受程度。

（3）声响美感度。指水受外力作用发出特有声响给人听觉和心理上的美感享受程度。

（4）虚涵美感度。指水景周围的物象的光线落入水中产生的倒影或特定时间水面雾气缭绕的虚幻给人美感的享受程度。

（5）景观度。水景的丰富程度及对比变化（即水景形式的多样性和对比性），水面率的高低，水体与周边的岩石、建筑物和构筑物，植物和动物等景观要素的组织性和协调性。

3. 实用功能评价

现代完善的人居环境要有良好的公共活动场所和服务设施，一些配套设施需要有充足的水量储备。水景观的实用功能以4个因子来进行评定。

（1）实用性。是否能满足人们戏水、赏水、亲水、用水的要求，主要的判定指标是水景观使用率的高低。

（2）安全性。是指水景空间的安全程度，是舒适度的前提条件，安全性以水深、水底的竖向处理和水景区域铺装材料的选择及水边的安全防护措施等反映，该指标以主体因子的水深来衡量。

（3）亲水度。分为4个等级测定：

1）优。有缓坡、沙滩；可以直接入水、戏水，可进行水上活动。

2）良。可通过亲水平台触水、戏水。

3）中。有楼、阁、台、桥等，可在近处观景。

4）差。无法接近水体，只可远观。

（4）节水度分为4个等级测定：

1）优。自然水系补水，形成自循环系统。

2）良。自然水系或深井水补水。

3）中。深井水或自来水补水。

4）差。完全用自来水换水。

4. 社会价值评价

水景观设计应贯彻以人为本的原则，强调其文化内涵及功能属性，近水、亲水、戏水、用水是水景营造的重点。水景的社会价值以3个因子进行评定。

（1）文化性。指滨水景观的主题文化或水景的历史文化价值，如景观强调功能多样化、艺术多元化，户外休闲环境突出生活文化和休闲文化的主题，在景观的空间设计上体现“文化之美”。

（2）公共性。指人们对水景的共享性，即水景布局的公共性。

（3）居民满意度。指人们对水景的设置、运行、管理等的满意程度。

22.4.4 评价指标体系

定量评价滨水景观质量，是滨水景观质量的客观表现及效应，也是进行综合辨识和全面评价的基础。

由于滨水景观系统具有多层次、多侧面和动态等特征，加之评价的区域范围及目的不同以及评价主体对滨水景观理解的不同，难以建立一种能够适合于任何滨水景观的评价指标体系。因此，应根据滨水景观的特点，构建出既能反映滨水景观质量普遍规律，又能适合于具体的滨水景观质量的指标体系。根据这一原则，可将滨水景观质量评价指标体系分为一般指标体系和具体指标体系。一般指标体系是根据滨水景观共同特征而建立起来的，带有普遍性的指标体系，它可用来指导某个具体区域滨水景观评价体系的建立。从本质上看，一般指标体系是一个指标库，它可供建立具体指标体系时选择和参考。具体指标体系是在一般指标体系的基础上，根据具体评价对象的自然、经济和社会发展的实际状况，并考虑数据可得性、可操作性等因素而建立的用于评价具体区域内滨水景观质量状况的指标体系。基于上述滨水景观系统3个子系统的质量评价指标体系，建立滨水景观质量评价的一般指标体系，见表22.1，具体指标体系可根据评价区域的特点，在一般指标体系的基础上进行增减、筛选或调整。

表22.1　　滨水景观质量评价指标体系

系统层	子系统层	子系统亚层	指　标　层
滨水景观生态质量A	滨水景观生态评价B1	河流廊道C1	廊道长度和宽度D1
			廊道连通性D2
			廊道的宽长比D3
			廊道的周长面积比D4
			廊道非均匀度D5
			廊道密度指数D6
			间断D7
		水系网络C2	连通性D8
			环度D9
			网络结点D10

续表

系统层	子系统层	子系统亚层	指　标　层
滨水景观生态质量A	滨水景观质量评价B2	生态价值C3	自然度 D11
			自净度 D12
			温度调节 D13
			湿度调节 D14
			水体臭味 D15
		景观美学C4	冬季美感度 D16
			形态美感度 D17
			声响美感度 D18
			虚涵美感度 D19
			景观度 D20
		实用功能C5	实用性 D21
			安全性 D22
			亲水度 D23
			节水度 D24
		社会功能C6	文化性 D25
			公共性 D26
			人群满意度 D27

由于相互作用关系的复杂性，还需要在很多方面诸如尺度效应、指示因子选取、异质性、关联性、景观价值多重性等方面展开更深入的研究，以期为滨水景观的生态建设提供更广阔的理论基础。

22.5　滨江地区滨水景观规划的模式与程序

从研究内容上看，滨水景观规划可分为总体规划、概念规划、详细规划和设计等层次；从研究尺度来看，滨水景观规划可分为流域景观规划、区域滨水景观规划和小尺度的规划设计。一般来说，总体规划研究尺度较大，从流域、区域再到城市地区等；详细规划是在总体规划基础上对下一尺度范围进行规划；设计则是针对小尺度滨水地区进行的规划设计。本研究着重探讨滨江地区区域层面的水景观调控的原则和一般内容。

22.5.1　滨江地区水景观调控原则

1. 空间尺度原则

区域水景观调控属于宏观的整体空间构架及中观的典型空间组合尺度，一般不涉及具体空间元素的规划设计这一小尺度。

2. 多样性与异质性原则

多样性的景观比单一的景观具有更好的生态功能，异质性景观相应的生态稳定性高。滨江地区水景观具有自然景观、休闲娱乐景观和文化历史景观 3 个层次，水景观构建中应重视多样性和异质性的塑造。

3. 自然优先原则

按照美国城市学家芒福德的观点：自然高于人类，人类只能顺应自然而生存，与自然协调而发展。如果说自然环境比人工环境更重要的话，那么滨水区的环境对区域的生态环境的影响更直接，因而也更大。自然生态优先原则要求设立独立的滨河自然生态发展空间。优先保护水景观中的自然资源，这些自然资源包括河流水系、滨水空间的原始自然保留地、湿地、坡地、森林以及大的植被斑块等。

4. 生态关系协调原则

景观水系是滨江地区重要自然地理要素，但其自然生态过程往往受到人类经济驱动以及社会兴趣的影响，因此，规划中应按照“自然—经济—社会”复合生态系统的理论，把社会经济的持续发展建立在良好的水生态环境基础之上，实现人与自然的和谐共处。

5. 历史文化原则

一个完整的滨水景观应该是可以自我保养和更新的自然景观。同时，由于大江大河与人类发展有密切关系，人类聚居的滨水区应保留丰富的历史文化痕迹，即人文景观。

6. 整体优化原则

整体优化原则要求把滨江地区水景观系统作为一个整体单位来思考和管理，达到整体最佳状态，实现优化利用，而不必局限于局部的优化。

22.5.2 滨江地区水景观规划步骤

1. 景观水系调控的流程

景观水系调控是对滨江地区现状水系格局进行重新调整和构建，使河流廊道和水系网络的结构和格局更加合理。目前水系受人类活动干扰，原始自然的格局早已被打破，不符合城市发展的要求，需要制定科学合理的水系规划来引导水系调整与建设的实践。一个科学、合理的水系规划应在展开更全面的河流结构、功能和动态变化以及河流与其他自然要素之间相互作用关系的分析，以及在河流廊道空间结构和水系网络连接度分析的基础上编制形成。水系规划的基本流程如图 22.2 所示。

2. 滨江地区水景观规划流程

景观水系规划流程如图 22.3。

（1）现状景观水系的实地调查、分析、评价与制图。对现状景观水系的调查与分析主要从以下 3 个方面展开：

1）现状水系的结构特征，包括水面率、水系分布、河流级别、河网连通度等。

2）水边湿地、驳岸情况。

3）滨水空间的景观类型、组合、分布、结构等。

（2）景观水系总体格局规划。

（3）景观水系格局各项内容的具体规划，如骨干水系景观规划、水利风景区规划、水域景观保护规划和水文化规划等。

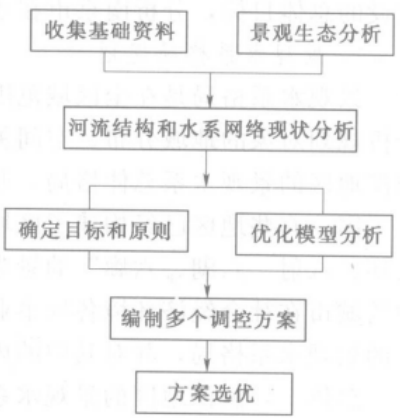


图 22.2 滨江地区水系调控流程图

（4）水旅游体系规划，包括组织水上旅游专线，确定游线的长度、容量，设置沿途码

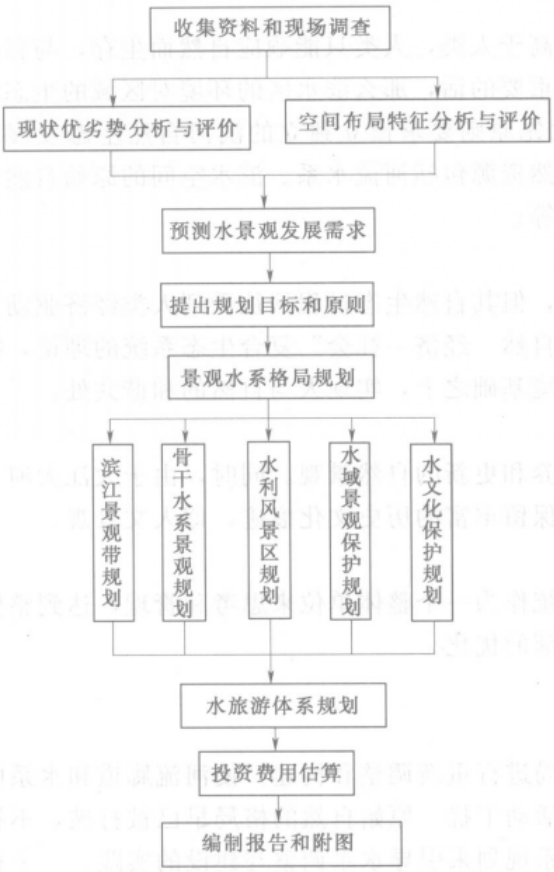


图 22.3　滨江地区水景观体系规划流程示意图

头，布置水景点，创建以水景观为主要景点的旅游线路或景区等。

22.5.3　滨江地区水景观调控内容

1. 现状调查与评价

现状调查采取资料收集与野外考察相结合的方法。调查内容主要包括：现有景观水系、临水古民居、古桥、现代桥梁、古水利遗址、滨水自然景观和人文景观（纪念建筑物、名人故居、古典园林、地下文物等）的分布与现存状况；物质性的和非物质性的水文化特色；水利风景区及水利风景资源（水库、堤防等）的规模、分布；湿地公园的建设与管理情况；风景名胜区内的水域景观；拟规划或正在规划的水景观、水文化及水旅游项目等。根据现状调查与资料整理结果，绘制滨江地区水景观现状分布图。

现状分析评价采用定性为主、定量为辅；主要有比较法及趋势预测法等方法。内容包括：滨江地区水景观、水文化的特色；景观水系的空间分布特点；滨水景观建设中存在的问题；区域现有景观规划的相关内容及其与水景观的关系；依据区域经济社会发展规划目标和人们生活水平不断提高发展的趋势以及城市规划建设布局，城市建设的总体目标，分析南京市在水景观规划与建设方面的需求和应达到的水平。

2. 景观水系格局规划

景观水系格局是在全区域范围内，以骨干河网水系为基础，以城乡空间规划为参考，分析规划对象的地域分布、空间关系和内在联系，确定区域重要水景观的空间布局，形成滨江地区的景观水系总体格局，并指导下一层次的水景观规划设计。

国内有些地区已经构建了区域性的景观水系格局。如上海市在 2003 年提出了“一轴、五环、八射、六湖、六廊”的景观水系格局，旨在打造东方著名水都。滨江地区及处在其中的城市在社会经济环境各项事业全面发展的同时，城乡一体化进程正在加速，构建区域性的景观水系格局，并对其中的内容进行具体规划建设势在必行。

总体上，滨江地区的景观水系格局规划应以大江大河作为横向或纵向景观轴线，并以景观轴线为联系纽带，串联星罗棋布的自然和人文水景观资源，综合部署，形成合理、完善而又具有区域特点的整体布局。

3. 滨江景观带规划

滨江地区的大江（河）是区域水景观规划的核心和重点。首先，调查其岸线开发利用

现状与保护情况。调查可按港口（码头），仓储（仓库及附属码头），工业（指沿江火电、钢铁、化工、建材等基础工业以及造纸、拆船、修造船等其他工业），生活（包括城镇、城市取水口、排水口和滨江风景区等）、过江通道（桥梁、汽渡、桥位、隧位预留等）、特殊利用占用（军用和过江电缆保护等）、滨江风景名胜区、未开发利用的自然岸线（滩地、心洲、自然保护区）等八大类进行。采用资料分析与实际调查相结合的方法，确定各种岸线的长度、面积，绘制岸线开发利用与保护现状分布图。调查沿江历史文物古迹、历史名人事迹、文化特色。分析已有规划。对目前已有的岸线规划进行综合分析评价，根据岸线特点以及现状开发利用情况，论证其科学性和可行性，保留其中合理的部分，调整不合理部分。调研相关规划设想。其次，进行沿江岸线的功能分段规划。根据不同岸段的自然特点，分析区域社会经济发展及规划对岸线的不同功能的需求，兼顾水资源、防洪、水生态环境保护等目标，从岸线景观优化利用与保护的全局角度，进行分区、分段规划，确定生产建设区、控制开发区和生态保护区。再次，进行滨江景观规划。对生活岸线和风景区岸线的景观分左右岸、分段进行相应规划，确立各岸段风貌特色。可分为自然生态风貌、人文历史风貌、现代滨江风貌等。第四，提出景观控制与保护规划。沿江两岸自然风景优美，人文历史悠久，无论是开发建设区、控制开发区，还是生态保护区，滨江地带的景观有着其他地带景观所没有的属性。规划将按照滨江景观建设的目标，对沿江的开发建设区（港区、工业建设区）和城镇建设区等人类活动强度较高的地段提出景观控制要求，使开发建设活动与整个滨江景观的特色相结合。对处于自然状态的滩洲，根据现状调查结果，与相关规划相协调，进行自然保护规划。对于受到一定程度的人类干扰的滩洲，应进行相应的保护和修复规划。明确各分区的水生态环境保护目标、建设要求与控制措施。

4. 骨干水系景观规划

滨江地区的骨干水系指较大的江河湖库，包括通江的支流、湖泊及直接流入这些河湖的一级支流、中小型水库。水景观规划将分析这些骨干河网的现状景观特征、所流经地区的人类活动情况及其未来的发展趋势，进行以保持河网连通性为基础的骨干江河湖库景观规划。

（1）滨水绿化的规划。滨水绿化在城市规划区称为滨水绿地（防护绿地），在其他地区则称为滨水（滨河）防护林。滨水绿化规划内容包括水体沿岸的绿化景观规划、小游园的布置、绿化带的建设（宽度、时间及树种的选择）等。规划将与当地绿地系统规划相衔接，提出骨干水系的绿化要求措施。在水滨植被方面，应增加植物的多样性；多采用自然化设计，植被的搭配——地被花草、低矮灌丛、高大树木的层次组合，尽量符合水滨自然植物群落的结构。提倡采用生态护岸。

（2）滨水景观规划。滨水景观规划包括水域、过渡域和陆域三部分，不同地域的景观特色不同，同时还应与水体流经地区的总体景观风貌相协调。跨越河流的桥梁在城市形态中占有特殊的地位和特殊的建筑地点，间接而优美的结构造型以及桥上桥下的不同视野，使桥梁成为城市的标志性景观。在规划中应强调场所的公共性、安全性、经济性、生态性、观赏性、亲水性、文化性，创作出市民及游客渴望停留的休憩场所。在适当地点进行节点的重点处理，放大成广场、公园，在重点地段设置城市地标或环境小品。临水空间建筑和街道的布局应注意留出能够快速容易到达滨水区的通道。濒临骨干河网景观的创建，

应选择布置在城市建设区、城市居住区、新城、古镇、农村集中居住点、风景名胜区、文物古迹保护区等地段。农业生产区、生态功能区等非城镇建设地段的滨水景观则应以保持自然风貌特色为主。

(3) 湿地公园规划。湿地公园是指具有生态旅游和生态环境教育功能的湿地景观区域，兼有物种及其栖息地保护的功能。湿地公园的宗旨是，科学合理地利用湿地资源，充分发挥湿地的生态、经济和社会效益，为人们提供游憩和享受优美的自然景观的场所。规划利用滨江地区湿地景观丰富的优势，选择湿地景观典型、自然风景优美、可供人们观赏、旅游、娱乐、休息和文化教育活动的湿地，建立具有生态旅游、生态环境教育以及物种及其栖息地保护功能的湿地公园，通过法定的申报和审批程序，明确其功能、管理范围与保护措施。

5. 水文化保护规划

滨江地区人类活动历史悠久，水文化古迹众多。按照历史文化保护区和文物古迹两个层次，在规划区内各级水利文物和有价值的历代史迹遗址周围，划出一定的范围与空间作为水文化保护区，针对保护区内古河道、古桥梁等水文化遗迹，制定相应的保护措施，保护水文化遗存，保持与延续水文化特色，继承和发扬优秀水文化传统，促进历史文化名城的保护。

6. 水利风景区规划

水利风景区是水利（水务）部门在长期的工作过程中为人们保留的一道特殊的景观，如千岛湖、三峡风景区等。规划充分挖掘滨江地区现有的水利风景资源的潜力，通过规划新建、整治、修复改造与挖掘提高，构造景观优美的水利风景区。依靠滨江地区水旅游资源特点，创造性地建立新的水利旅游风景区（景点）或主题公园；利用现有的资源，通过整理、组织和再开发，形成具有旅游吸引力的景点；对现有的利用率不高的自然景观或被损毁的人文历史景观进行修复、改造，使之具有旅游吸引力；对已开发但又不完全适应发展需要的风景区（景点），深入挖掘，增加水旅游设施和功能，提高其整体质量。通过上述措施，建设独具当地特色的水利风景区（景点），传播现代水文化精神，促进旅游水利的发展，提高社会对水利行业的认同。

7. 水旅游体系规划

滨水景观的规划建设不仅可以提高人居环境质量，而且还可以促进水上旅游业的发展。规划以现有的和规划的水景点和水利风景区为基础，依据景观（风景区、景点）特征、空间分布情况、游人结构与游览规律等因素，制定水旅游规划方案，构建研究区水旅游体系，通过提高旅游景点质量，促进水旅游事业的发展，展现滨江地区的新形象。

水旅游体系规划包括对水旅游形象的定位，组织水上旅游专线，确定游线的长度、容量，设置沿途码头，布置水景点，创建以水景观为主要景点的旅游线路或风景区等。通过线性绿地、林荫大道、步道及车行道等将滨水景观与城市内部景观联系起来。以水利风景区为主要景点，设计“水利一日游”的旅游方案。

8. 水域景观保护规划

水域景观保护规划的对象主要是风景名胜区和自然水域景观独特的水体。应对整个区域重要风景名胜区中的水域景观制定保护方案和措施，为水域景观的保护提供依据。

滨江地区河网水系复杂，河流作为自然生态廊道，不仅发挥了许多生态服务功能，而且还具有独特的自然水域的美丽风光。对于这些河流应作为景观敏感性资源加以保护，划定景观敏感区，对特殊天然水系景观划出一定的范围与空间作为自然景观保护区，制定保护方案与措施，为自然河流风貌景观的保护提供依据。

22.5.4 滨江地区小尺度水景观的规划设计

22.5.4.1 小尺度水景观规划设计原则

在滨江地区小尺度景观规划设计中，应考虑安全性、经济性、生态性、观赏性、亲水性、文化性等多种功能，注重场所的公共性、功能内容的多样性、水体的可接近性以及滨水景观的生态化设计，创造出市民及游客争相滞留的游憩场所。

（1）场所的公共性（共享性）。场所的公共性特点要求防止各种圈地现象，使滨水绿带真正成为居民喜欢的公共场所，多布置旅游、商业、休憩和体育设施，少布置办公楼，不布置工业项目，使市民能自由进入。在我国，尤其要防止滨水区岸线被旅馆、商贸大楼等外资、合资项目独占。这些项目可后退岸线，把岸线规划成共享的公共绿地。

（2）功能的多样性。滨水区应提供多种多样的功能，如林荫步道、成片绿荫休息场地、儿童娱乐区、音乐广场、游艇码头、观景台、赏鱼区等。

（3）水体的可接近性。亲水是人的天性。防洪堤、防洪墙等防洪工程设施可采用不同高度建临水台地的做法。如美国芝加哥湖滨，按淹没周期，分别设置了无建筑的低台地，允许临时建筑的中间台地和建有永久性建筑的高台地 3 个层次。此外，在滨江、滨湖地区，应避免向水中填地延伸的做法，防止因河流排洪断面减小或湖面蓄洪面积减少造成洪水灾害的严重后果。

（4）滨水景观的生态化设计。采用点线面相结合的方法。线——以林荫道为主体的贯通脉络；点——重点观景场所或被观景对象，如重点建筑、重点环境艺术小品、古树；面——周围扩展开的较大活动绿化空间，如中心广场、公园等，这些室外空间可与文化性、娱乐性、服务性建筑相配合。

22.5.4.2 主要水景观要素的设计

1. 水体

自然条件下，与水体相互作用的是一个复杂的生态系统，既包括水体本身，也包括与水域生态相关的滩地、湿地、坡地、地下水、植被、水生生物等自然元素。它们之间构成了复杂的网络关系，共同起到水量控制、水质净化的作用。

景观水体的水量水质是构成水景观的基本要素。可通过采用适合当地条件的各种办法来保证水量水质的要求。如利用砾石净化和植物净化的方法。前者利用高河滩，在其上铺上砾石后引进河水，用生物膜净化水；后者栽植能吸收氮、磷的植物，定期割除以达到净化的目的。也可以利用落差结构和泵等加入空气，提高河水的净化功能的曝气的方法。

2. 滨水植物

沿滨水区形成一条由各种植物组成的连续的公共绿化地带，与河流共同构成河流廊道，有利于水景观生态系统功能的发挥。

在水滨植被设计方面，应增加植物的多样性，多采用自然化设计。植被的搭配按地被花草、低矮灌丛、高大树木的层次组合，尽量符合水滨自然植物群落的结构。

滨水植物种类的选取要遵循以下原则：

1）因地制宜，适地适树。乡土植物更能适合当地的气候和环境条件，同当地景观相协调，突出当地特色，体现地域特征。

2）保护原则。要保留好当地环境中存有的古树和名木，它们是当地环境变迁的见证，具有丰富的历史文化感。这类植物应采用标本式种植的方式加以保护和加强。古树名木是文化，古树名木是历史。例如，历史悠久的江阴市拥有大量百年以上的古树，这批历史的见证者多数散落在村镇。比如位于顾山镇红豆村内的南朝梁代的红豆树，霞客镇南旸岐村内明代的罗汉松等。

3. 护岸

根据不同的地段及使用要求，采用不同类型。从保护水生态的要求，提倡采用自然驳岸和生态护岸。自然护岸是选用天然的石材、木材等材料，按一定方式堆置在两岸，在缝隙中种植植被，既可增强护岸抗冲刷能力，又能为水生生物提供附着、栖息和觅食的场所。生态驳岸则把河堤由过去的混凝土人工建筑改造为水体和土体、水体和生物相互涵养、适合生物生长的仿自然状态的护坡。除护堤防洪的基本功能外，还可治洪补枯，调节水位，增加水体的自净作用，恢复河流生物过程。它以保护、创造良好的生存环境和自然景观为前提。

护岸从结构上分，可分结构性和非结构性护岸两大类。每种护岸都具有自身的特点和适用范围（表 22.2），使用中需要根据水岸的具体情况，综合考虑经济、环境和景观等诸要素，确定断面形式及组合方式，加强生物工程技术的应用。这种技术的使用，不仅创造坚实的、可持续的、美学上令人愉悦的水岸，而且为水生和陆地野生生物提供生存环境，并对地表径流起到净化作用。

表 22－2　　结构性与非结构性护岸的对照

项目 / 分类	护岸性质	使用材料及做法	景观作法效果	生态作法效果	游憩功能	经济性	适用范围
非结构性护岸	自然护岸 生物工程护岸	运用泥土、植物及原生纤维物质等形成自然草坡、沙滩、卵石滩	软质景观，层次性好，季相特征明显	对生态干扰最小，是仿自然型的护岸	适宜静态个体游憩和自然研究性游憩	工程量小，取材本土化，经济性好	坡度较缓，一般要求坡度在土壤自然安息角内，且水流平缓
结构性护岸	柔性护岸	格垄（木、金属、混凝土预制构件）、金属网垄、预制混凝土构件等	软硬景观相结合，质感、层次丰富	对生态系统干扰小，允许生态流的交换	适宜静态和动态、个体和群体游憩	有一定的工程量，但施工方便，周期短	适用于各种坡度，水流平缓或中等，一般护岸高度不超过 3m
	刚性护岸	浆砌块石、卵石和现浇混凝土及钢筋混凝土等	硬质景观，效果差，绿化覆盖有助于改善形象	割断了水陆之间的生态流的交换，生态性差	适宜静态和动态游憩（陡直护岸会影响亲水可达性）	工程量大，人力、物力投入多且工程周期长，投资较大	水流急、岸坡高陡（3～5m 以上）且土质差的水岸

景观美感性是护岸建设的视觉形象目的，游憩行为的安排和组织是护岸人性化设计的

体现，人类行为的加入使护岸锦上添花，扩大了护岸设计的文化内涵。

相对于静态的单体游憩活动，动态的群体游憩活动对护岸的安全和生态影响偏大，规划设计中应将干扰性的干道远离水岸 50～100m，可采用架空技术，形成人与动物、微生物互不干扰的立体空间。

4. 水际

水际是指滨河区河水涨落之间的特殊区域。它是滨河区最富戏剧性的地方，也是防洪、护坡、造景、游憩等多种功能交织的场所，是滨河区景观建设的重点之一。概括目前已建的滨河区水际大致可分为 6 种模式（图 22.4）。

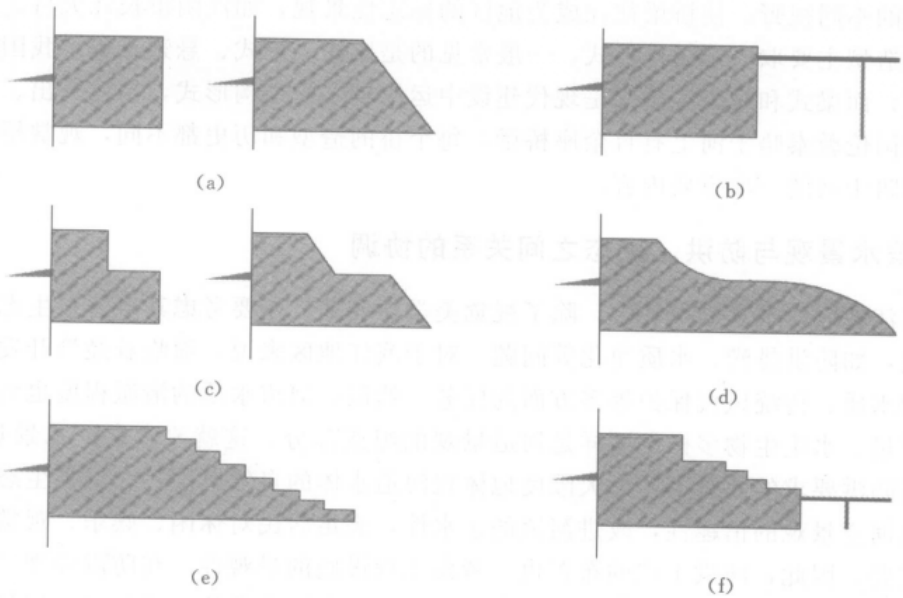


图 22.4　滨水水际设计的 6 种模式

（a）直落式；（b）挑台式；（c）分级式；（d）自然式；（e）多级式；（f）组合式

（1）直落式。优点是占地面积少，施工方法单纯。缺点是河岸生硬，亲水性较差，景观单调。在水位高、落差小的河流旁尚可使用，但在景观因素非常重要而水位落差大的滨河区水际应谨慎使用。

（2）分级式。优点是占地面积不大，施工方法较单纯，亲水性也较好。缺点为当台阶落差较大时，容易造成治安、卫生死角。可在景观不太重要的区段应用，并要做好管理和维护工作。

（3）多级式。优点是任何水位下都有良好的亲水性。缺点是占地面积较大。适用于宽度较大的滨河区。在多级的情况下，台阶或平台的宽度、形式可以自由灵活地组合，还可结合石块、金属制品甚至少量耐水湿的植物进行综合造景。

（4）挑台式。优点是亲水性较好。缺点是造价较高。这种平台既可由悬挑实现，也可把支柱架在河中，用上铺平台的方法构成。平台的材料可以多种多样，但表面用木板铺设是最受欢迎的方式之一。

（5）自然式。优点是有良好的亲水性和生态性。缺点是防洪性、安全性较差，水土流

失量较大，可在水势较平缓的河段使用，并应做好滨河区绿化工作。

（6）组合式。由于滨河区呈条带状，上下游的自然状况、环境条件不尽相同，再加上由于景观多样性的需要，滨河区水际常采用多种形式组合的方式构成。在实际应用时必须首先确定主要功能和次要功能，同时要考虑环境条件是否允许，并注意滨河区的多样性和统一性，在综合兼顾各种因素的前提下完成滨河区水际的构思、设计与建设。

5. 桥梁

桥梁是跨越水上的不可缺少的交通疏导设施，也是滨水景观中引人注目的要素。桥梁在滨江地区的景观形态中占有特殊的地位，特殊的建筑地点，间接而优美的结构造型以及桥上桥下的不同视野，使桥梁往往成为地区的标志性景观，如江阴市长江大桥。

桥梁造型主要取决于结构形式，一般常见的是拱式、梁式、悬索式等。我国江南小镇多是拱桥；而梁式和悬索式桥梁是现代建设中运用较多的结构形式，构建突出、造型现代感强。英国伦敦泰晤士河上有百余座桥梁，每个桥的造型和历史都不同，观赏桥梁成为乘船游览泰晤士河的一项重要内容。

22.6 滨水景观与防洪、生态之间关系的协调

在滨江地区滨水景观设计中，除了视觉美学功能外，还要考虑其自身在生态系统中的功能特点，如防洪排涝、水质净化等问题。对于滨江地区来说，面临着经济开发、防洪排涝、治理水质、传统风貌保护等多方面的任务。然而，河道水质的清澈程度也直接影响到景观的质量，水生生物多样性同样是河道景观的组成部分。这就要求在滨水景观设计中，应在满足防洪要求的前提下，最大限度地体现河道水体的自然属性，在维护生态效应的同时，提高河道景观的情趣性，改进河道的亲水性，满足居民对休闲、娱乐、观赏等情趣性感受的需要。因此，防洪工程的布置也应考虑工程设施的景观性。在防洪堤坝、护坡、闸门的建设中兼顾景观生态的要求，注重防洪设施的观赏游览价值。例如，水坝与闸门设计除了满足安全需要，还要满足景观要求。如以水坝顶面为平台架立了接近水面的观景步行桥（图 22.5），还可将小型闸门美化成景观小品（图 22.6），巧妙地将本来线条僵硬的水坝、闸口等基础工程融入景观建设中。

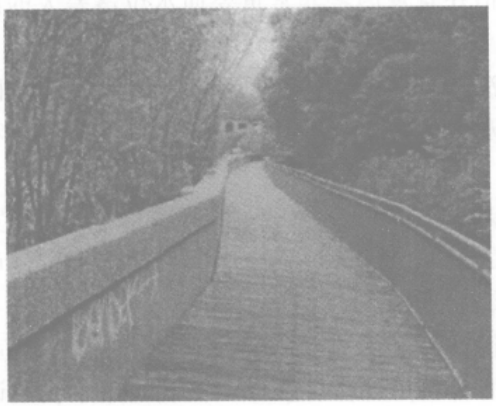


图 22.5 水坝顶部观景步行桥



图 22.6 水闸

此外，防洪设计在确定设计安全水位标准之后，应该考虑防洪区的生态环境建设需要，防洪工程应尽量采用生态效应较高的修筑方式，以减小人工改造活动对城市滨水区域的影响，维持自然环境与生态平衡；并且还应该考虑防洪工程设施与城市滨水区域景观之间矛盾的关系，将景观设计融入防洪工程建设中去。特别关注防洪水位与亲水岸线的协调、防洪排涝与亲水安全的协调、河道流速与水生生态修复的协调等问题。

第 23 章　滨江地区的水文化建设

水是生命之源，滨水地区是人类文明的发源地。人们对水的亲近与敬畏之情，衍生了内涵丰富的水文化。水文化是滨江地区文化的重要组成部分。“天下莫柔弱于水，而攻坚强者莫之能胜，以其无以易之。弱之胜强，柔之胜刚，天下莫不知，莫能行”（《老子》）。滨江地区水系的兴衰发展，记载了古人所创造的成就以及淳厚的历史文化，在很大程度上反映这个地区的发展。由于人类的生活和生产活动都离不开水，加上悠久历史和灿烂文化的孕育和滋养，滨江地区长期以来积累了丰富的水文化。历史水文化也是一种宝贵的文化遗产，记录了我国的自然、地理、灾害和社会变迁等。滨江地区水系在为人们提供生活、生产用水的同时也滋养了人们的精神家园。在滨江地区发展历史中，不同时期具有不同文化内容的水工程或水遗迹，都有着丰富的文化内涵。滨江地区水景观规划研究应系统地研究水文化，认识水文化在当地发展中的作用，挖掘水文化的价值，并将水文化的挖掘、保护和建设纳入地区水景观和水利工作的主要内容中。

23.1　水文化概念

23.1.1　水文化概念

对文化景观中的文化所包括的内容目前还没有一致的定义，有人认为文化是各种艺术形式，有人将文化定义为“习俗、信仰和传统”，有人认为文化应包括“民族和种族的多样性”。从广义上讲，文化可以指任何社会的总体生活方式，包括社会行为、知识、艺术、宗教、道德、法律、传统规范、风俗习惯以及人作为社会成员所获得的任何其他能力。文化要融入到地区的规划和建设中，这样区域文化与景观互相反映，相互影响，区域才能产生自身鲜明的特色和生命力。

水文化是人们在从事水务活动中创造的以水为载体的各种文化现象的总和。它是人们在与水的依存、认识、和理解的过程中升华、创造的以水为载体的各种文化现象的总和。“以水为师”、“上善若水”、“智者乐水”、“智者如水”，体现了水文化博大精深的内涵。水务活动是水文化的源泉；水文化是人们对水务活动的理性思考，是反映水务活动的社会意识，是民族文化中以水为轴心的文化集合体。对于位于大江大河之滨的滨江地区，水也是孕育该地区文化的源泉。水文化博大精深，是一个庞大的文化体系，有广义和狭义之分。广义的水文化是大文化概念，即城市水利在形成和发展过程中创造的精神财富和物质财富的总和。狭义的水文化是指河湖等水景观以及河湖等所发生的各种现象对人的感官发生刺激，人们对这种刺激会产生感受和联想，通过各种文化载体所表现出来的作品和活动。

23.1.2　水文化形式

水文化的内容非常丰富，主要有以下几个方面：水的命脉作用，即水在人类生存、社

会进步和经济发展中的命脉作用；水的治国之枢，即“水能载舟，亦能覆舟”的社会意义；水的哲学思辨，即从哲学的高度上过滤和升华的水文化；水的精神力量，即水给人的启示、感悟，或者说人为水赋予的灵气而产生的一种精神力量；水的爱情魅力，即以水为媒表达和抒发的各种爱恋之情；水的文学主题，即以水为题材所创造的各种文学作品；水的艺术殿堂，即以水的题材所创造的各种艺术作品和水对各种艺术创作、艺术风格所发挥的重要作用；水的民俗风习，即水土对民族习俗的重大影响；水的健康功能，即水对医疗卫生和人们身体保健的作用等。

我国的水文化大致包括了以下一些形式和内容。

（1）诗歌类。在唐宋诗词中，讴歌大江大河、湖泊壮丽景观的作品随手可得，表达水灾之后民众流离失所的悲惨民谣也有很多记录。

（2）碑刻类。在石碑和岩石上刻记曾经发生过的水现象。如三峡白鹤梁的鱼纹石刻及相应文字记录了历史上发生过的长江枯水位，都江堰的石碑记录了李冰的治河原则。

（3）绘画类。山水画一直是我国文化的主流，表达了人们对水域景观的追求和向往，其中以“清明河上图”最具代表性，它精细地记录了黄河下游曾经有过的繁荣。

（4）史记传说类。在中国数千年的治水活动中，涌现过许多民众心目中的英雄人物，他们的事迹被文字记载，或经过长期口头流传，形成了丰富的历史和文学。如关于大禹治水，三过家门而不入的故事，至今家喻户晓。

（5）信仰类。由于人们对水灾的恐惧和对治水人物的崇拜，逐渐形成有宗教色彩的信仰。如随处可见的龙王庙、禹王庙、纪念李冰父子的二王庙、纪念韩愈治理韩江的韩王庙等。英雄人物逐渐被神化，至今香火不断。

（6）祭祀类。在历史上每当遇到干旱和洪水，民众苦不堪言，迷信地认为是上天在发怒，常常举办各种祭祀活动，祈求降雨、平安。

（7）民俗类。长期在水畔生活的人群或民族，为表达人与水的亲密关系，或为了纪念某一事件和人物，或为了表达丰收的喜悦之情而举行的活动，长期以来演变成为民俗。如西双版纳傣族的泼水节、洞庭湖区的赛龙舟等。

（8）科学著作类。在长期的治水活动中，人们也加深了对水的认识，也涌现了一些治水的专家，形成理论，汇聚成书。比较有名的如《山海经》、潘季驯的《治水方略》等。

23.1.3 我国滨江地区的水文化背景

我国的水文化内容极其丰富，其中，古代水文化主要由南方长江文化和北方黄河文化南北二元耦合而成。

长江流域丰富的考古发掘资料证明，长江也是中华民族的母亲河，长江文化是中华文化的重要一脉。长江文化和黄河文化以及中华大地上的其他区域文化一样，既有作为中华文化的共性，又有作为区域文化的鲜亮个性。长江文化包括荆楚文化、吴越文化与巴蜀文化，其中，有很多具有保存和研究价值。与北方文化更重实际相比，以楚文化为代表的南方文化更富于浪漫色彩，两者共同构成了以北黄南炎、北龙南凤、北河南江、北儒南道、北诗南骚并驾齐驱为特征的中华文化。下面简单介绍长江中下游的楚文化和吴越文化。

1. 楚文化

楚文化是春秋时期长江中游最早发展的、在楚国800年的历史沉淀中孕育而成的文

化。以屈原为代表的水文化即兴起于楚地。楚文化以当时的楚都纪南城为中心，长江是古代城市水文化的发源地。楚江即今长江湖北省、江西省、安徽省一段，另一段荆江，包括湖北省荆州市、武昌市、黄州区、隋州市等，也属于楚文化的一部分。湖南省洞庭湖以及湘、资、沅、澧四大水系，也属长江水系，称潇湘文化，也属于楚文化。这一地区的水文化博大精深，丰富多彩，包括屈原的辞赋，纪念屈原的民间活动，唐宋时期著名诗人、词人的活动、相关建筑和文学作品，诗、词、歌、赋等，名篇名作众多，不胜枚举。楚文化是其所在地域文化乃至长江文化、南方文化的代表，在中华文化中占有突出地位，吴越文化、巴蜀文化都源于楚文化。

2. 吴越文化

由于历史的原因，吴越文化一般由吴文化来涵盖。按照地域来说，就是长江中下游文化，主要指今天的长江三角洲地区。吴文化作为浩瀚华夏文化的重要一角，其内涵与特征十分丰富，可以用5个字概括，即水、柔、文、融、雅。吴文化精神领域的积极方面主要表现为4种精神。一是开拓创新精神。泰伯、仲雍放弃周国王子的地位，跋涉数千里，到江南开拓经营，对华夏民族的融合、形成及江南经济、社会的发展具有十分重要的意义。吴文化中的这种开拓创新精神，2000余年来在吴地得到很好的传承和发展，历史上吴地具有宗师地位的名人，不胜枚举；到了近现代，吴地更成为近代民族工业和乡镇企业的发祥地。二是崇尚德治精神。泰伯揖让王位，在历史上成为循礼谦让的典范，孔子称赞泰伯为“至德”。延陵季子的“后三让”，也体现了一种世人难以企及的礼让精神，具有以德服人的人格魅力。三是自强自立精神。吴国偏于东南一隅，一直受到周边各种势力的挤压和侵扰，尤其是后期，西有强楚压境，南有越国为敌。经过18代人的努力，至寿梦时国家开始强盛。寿梦相信以实力说话，敢于与强楚抗衡，在政治上，敢于与强国分庭抗礼，自称为王。四是对外开放精神。吴国能从一个不起眼的“蛮夷小国”发展成春秋时期的强国，甚至参与大国争霸，其关键在于实行开放政策，以开放的姿态学习，借鉴各国的长处，提升自己的综合国力。

23.2 水文化规划建设的主要内容

23.2.1 将水文化规划建设纳入滨江地区的文化建设中

未来区域间的竞争归根到底是文化的竞争，文化建设已成为各级政府工作的重点之一。水是滨江地区的资源和财富，水给滨江地区带来灵气。水文化在滨江地区文化建设中具有举足轻重的地位。在滨江地区的现代化进程中进行以水文化为内容的过程建设，可以不断满足当地人民日益增长的文化需求，提高人居环境质量，提高区域水文化品位，促进水旅游业的发展。水利（水务）部门应把建设水文化作为推进水利工作的一项重要内容，积极研究水文化，自觉运用哲学、社会科学理论指导水利建设，着力通过建设富有文化内涵的防洪及水景观工程，构建人水和谐的人居生活空间。

23.2.2 治水理念融入水文化

在实现从传统水利向现代水利、工程水利，向资源水利、景观水利，向生态水利的转变过程中，水利工作面临着许多新情况、新问题与新挑战，水利人必须加强自身学习，努力提高文化素养，增强做好新时期水利工作的能力。水利人不但需要具备较强的水利业务

知识，更需要具备政治、经济、历史、人文、管理等多学科知识，以便更好地做好水文化研究、挖掘与建设这篇大文章。

建设水文化的最好途径就是在水务建设与管理工作中融入水文化的理念。这就要求首先对区域的水文化遗存、精髓进行总结归纳，理解吸收；然后再落实到日常工作中。滨水历史人文遗存作为水文化的载体和平台，可以将水与文化结合，形成独具特色的水文化。在水利规划和建设中均要体现水文化。通过建设一个个富有文化内涵的水利工程展示形象，让人们切身感受到先进文化的魅力。把防洪工程建设和弘扬历史文化、展示现代文明结合起来，并成为重要的水景观。

长期以来，在水利建设上主导思想是工程坚固、实用，缺乏追求内在与外观、工程与环境协调的意识，缺少了水文化的内涵，更少了高层次的文化品位。缺乏文化品位支撑的建筑是枯燥的、不生动的。现代水利的工程建设，应是以现代科学技术为支撑，以取得经济、社会、生态、综合效益为目标的系统工程。因而，蕴含了美化生活、绿化环境、亮化景点、优化生态的文化内涵，是高品位的宏观美学构建。因此，开展水文化研究必须转变观念，突破以水论水、以河论河的传统局限与束缚，努力创造水与城、水与景、水与文化的和谐统一。水利工程建设要结合人居要求，从工程的规划设计与建设，以及周边的绿化工程管理设施，都需要给人以美的享受、美的追求，体现现代水利的文化品位和文化特色。

23.2.3 做好水文化景观的规划和实施

水文化研究要与水利工作进程合拍，结合水利工程实际，创造性地做好水文化的研究挖掘工作。认真作好水文化景观规划，注重体现特色，反映历史文化渊源，突出水与文化的完美结合、人与自然的和谐协调。规划要高起点，把水文化景观建设与建筑、旅游、交通、环保、绿化等有机结合，使水文化景观成为展示现代文明的一颗颗璀璨明珠。

1. 水文化建设要与水利工程结合

现代水利建设要充分体现水的文化内涵，引入人文色彩，提高水利工程的文化品位，使水利工程及其管理区既具有经济效益和社会效益，又呈现出丰富文化韵味的山清川秀、水碧岸绿的观光旅游景点，成为供人们休闲娱乐的良好场所、陶冶情操的高雅去处，美化人们的生活、提高人们的生活质量。

水景观是水文化的载体，在水景观以及有关水利工程建设过程中可方便地融入能反映现代气息的文化特色。分析城市水景观的文化内涵，通过规划和建设富有文化内涵的景观，保护和发展景观的自然价值和文化价值。水景观空间格局的规划应通过创建富有文化内涵的滨水景区、景点，体现传统文化与现代文化的融合，体现浓厚的地域文化特征。

在“水通”、“水活”的条件下，着力追求“水美”，把城市防洪工程建设与绿化美化河道、营造亲水空间、挖掘历史文化资源等相结合，努力营造优美的水环境。结合实施城市防洪工程，利用河坡岸地植树种草，构筑优美宜人的城市景观。在河道沿岸设置亲水平台、亲水走廊等，满足人们亲近水体、回归自然的生活需求，让广大市民更好地与水为伴，感受水的韵味、秀美和风情。

水文化建设要与水利工程建设结合起来。在设计、建造每一项水利工程时，既要考虑到工程、水环境在满足兴利除害功能的同时，还应重视其文化功能，把每一项水利工程当

作文化艺术品来设计、建设，与城市整体规划协调，借水的清秀，怀文化之风骨，使整个生态环境呈现出一派安宁祥和高雅之气，建设成为具有民族优秀文化与时代精神相结合，体现人、水、自然和谐相处的“工艺品”。

以治理江河为载体，以城市建设为依托，以历史文化为背景，以社会和谐为目标，重视水工程与水文化结合、水工程与城市和谐结合、水工程与群众的文化休闲生活结合、水工程与环境美化结合。把水文化建设融入到水工程建设中，赋予一定的文化内涵，提高水利工程的文化品位，使水利工程除发挥防洪、排涝、供水等功能外，还要实现改善生态，美化环境，促进旅游，彰显特色文化，提供市民文化休闲生活，实现水系多目标的功能。

2. 明确水文化保护区和恢复区

滨江地区集中了众多人文历史文化景观资源，应明确需要保护的水文化景观资源，作为历史文化风貌区加以保护。这些历史古迹可以是古河道及其沿岸传统民居保护区、著名治水人物塑像、古桥梁、古井等历史文化保护区；力争恢复遭到破坏的有历史意义的水文化景观，重点保护和整治以水取胜的园林等文物保护单位，使水文化遗产世世代代继承下去。由长期历史人类活动所创造的特定水域周边的人文景观，例如能够充分体验江南人水和谐的有代表性的古城镇，应当通过综合整治，恢复其当年风貌。

23.2.4 继承和发扬优良水文化传统

水文化是社会文化在水利行业的反映。我们必须吸收其中的优秀成果，摒弃消极因素，建立适合现代要求的新型水文化，全面促进水利行业的两个文明建设。历史上的名人名迹融合于独特的自然景观。要充分利用重要的水景观资源，保持并发扬研究区内涵深厚的水文化优良传统，尤其要继承人文历史中先贤思想的精髓。在进行水利工程建设时要充分注意保护该地区的优秀水文化，这应当成为水利工作者的职责。例如，在江苏省常熟市的尚湖举行一年一度的“尚湖水文化节”，宣传治水人物的事迹，丰富“尚湖牡丹节”、“国际划水节”的水文化内涵，弘扬水文化艺术；在沙家浜举办主题为“革命教育”和“生态湿地旅游”的常规性的红色旅游活动。对三峡白鹤梁鱼纹石刻等文物的保护；在水文化活动、民俗盛行的地方，要为居民从事水文化活动保留足够的场所。如在赛龙舟盛行的水域，堤岸建设要方便人群观看比赛，又如钱塘江堤防的建设既要便于大规模的观潮活动，又要有足够的安全保证。但是，如果在水利建设中缺少水文化意识，就有可能破坏了当地的水文化。例如河流污染、断流、渠化等都可能从根本上破坏了地方水文化的基础。此外，特色节庆也是可资开发的水文化资源。如“三月三，行人束山腰”民间胜景。

23.2.5 充分利用水利行业的文化设施

提供完善的水文化设施，主要包括水行业的各种文物、古迹及现代游乐设施。在现代化进程中还要进行以水文化为内容的过程建设，以不断满足广大人民日益增长的文化需求，提高人居环境质量。科学教育、文体卫生、图书、新闻舆论等文化设施是水文化中的外显文化，它可以促进新型水文化的丰富、完善、提高和升华。通过外显文化弘扬治水精神、歌颂英雄楷模、展现职工风采、反映建设成就、饱览大好河山，起到潜移默化的教育、娱乐和审美作用。如举办水上娱乐活动，如游泳、跳水、水球、划船、赛艇、皮划艇、帆板运动、摩托艇运动、水橇运动、滑水板、冲浪、潜水运动、水下摄影等。还可以举行一些读书节、钓鱼节、文化节等。

23.2.6 着力塑造好水利行业新形象

行业形象是行业文化的范畴。要着力塑造好水利（水务）行业形象，繁荣水利文化。通过文艺活动、宣传活动、公关活动等宣传工作，让全社会了解水利职工的风采，了解水利行业的丰功伟绩，了解水利的基础性和制约性，使社会关心水利、支持水利，走“水利为社会，社会办水利”的路子。

加强和改进行业的思想政治工作。这既是新型水文化建设的重要内容，也是塑造新型水文化的重要途径。一是要把行业思想政治工作与建设新型水文化融为一体。二是要贯彻思想政治工作科学化、现代化的方针。引导职工用行业精神、行业观念、行业准则自觉约束、规范自己。坚持思想政治工作与水文化建设一体化的原则。三是注重制度管理与思想教育相结合，形成制度规范为骨架、行业文化为血网、思想教育为脉络的有机整体，以加强水文化中的制度文化成分。

制定水文化发展的方针政策。在水文化的建设过程中，要制定“百花齐放、百家争鸣”、“古为今用、洋为中用、推陈出新”、“一手抓繁荣、一手抓管理”等一系列方针政策。现在提出从“资源水利”到“生态水利”的演变，正是“科教兴水”战略的具体体现，它是对水事活动发展规律的正确认识，必将大大推进水利事业的发展。

水文化研究要充分利用一切社会力量。水文化研究是一项系统工程，它涉及社会学、哲学、历史学、建筑学、美学、园林绿化、文物考证、人文学等众多领域，必须动员社会各界的力量，调动各方有识之士共同参与研究。因此在推进水文化研究的中，要主动加强与有关部门的联系与沟通，及时展示有关研究成果及实施设想，使相关部门对水文化研究意义与作用有充分的认识，从而自觉地支持、关心水文化研究活动，为水文化研究活动的持久深入开展营造良好的社会氛围。

23.2.7 创建现代水文化，促进水文化升华

传统的水文化蕴藏着丰富的内涵和优秀的成果，是千百年来治水英烈先进事迹的结晶，也是新型水文化必须继承的“内核”。由于人与水关系的变化，水文化也在不断地变化。水域的严重污染，说明流域内居民的生产生活方式不文明，缺少优秀的水文化。

在现代水利建设中应倡导水文化，既要注意保存我国历史遗留的优秀水文化，又要创造现代水文化。在特定河湖水景观规划设计时，设计一些体现现代水文化的小品，如亲水公园、中国园林理水方式等。还应当将现代技术、文化、观念引进到现代水利建设中来。如在河岸建设高技术手段的水文化展览馆、现代雕塑、大型喷泉、水上娱乐、水幕电影、音乐广场、水上夜景游览、焰火晚会等。

现代水文化的创立的基本原则是满足现代人们对水文化的基本需求、反映现代人与水的关系、体现现代科技进步。在不断总结现代水文化发展经验的基础上，创造新的水利建设理论，充分展现我国水利建设事业的文化内涵。并且通过水文化的发展，引导社会建立人水和谐的生产生活方式。

水利部门必须总结概括传统水文化和行业精神，使其升华发扬。根据时代要求和水利（水务）行业两个文明建设的发展情况，适时提出追求的新目标，对新的条件下行业形成的思想风貌、价值观念、行为准则等文化因素作出概括，促进水文化进一步完善，编印水利行业古今英雄楷模事迹，制定水利职工职业道德规范，塑造良好的水行业形象，利用新

闻出版、广播影视、网站等大众媒体宣传水文化，创作以水为主题的文学艺术作品。

23.2.8 加强古代文化与现代经济的结合

滨江地区历史上经济文化发达，艺术流派纷呈，传统工艺精美，加上丰富的时岁节日和独具特色的地方名产，形成内涵深厚的文化传统。水利建设应通过发掘水文化，结合水利现代化建设，弘扬水文化，积极开展水文化研究与实践活动，赋予水以鲜明的时代气息和深厚文化内涵，实现古代文化与现代经济完美结合。

23.3 水文化建设的意义

“水是人类文明的一面镜子”。优秀的水文化可以促进人水关系的协调，落后的水文化使人水关系紧张。开展水文化的建设可以为繁荣水文化事业提供科学的理论依据和行动的指导，为水利事业的发展提供强大的精神动力和智力支持，为经济的发展和社会的进步作出应有的贡献。

1. 有利于提高广大水利职工的思想素质

通过水文化建设，使水利行业职工认识到自己的劳动不仅为社会创造了巨大的物质财富，而且创造了巨大的精神财富，从而使广大水利职工增强自豪感，起到凝聚人心、激励斗志、热爱水利事业的作用。通过水文化的研究，可以更科学地认识水利的重要作用和社会地位，使每一个水利职工更加认识到自己所肩负的光荣使命和历史责任，在全社会树立水利行业和水利职工良好形象。因此，水文化应该是广大水利职工的精神支柱。

2. 有利于提高水利职工的文化素质

文化既是一种历史的沉淀，又是一种创新力量。文化与知识是同义语，有知识，就是有文化；知识越多，文化水平越高。因此，包括水利行业在内的各行各业，必须增强文化意识和知识意识，转变观念，为迎接知识经济时代的到来奠定思想基础。把依靠有形资产为主逐步转移到更多地依靠智力、知识等无形资产来推进经济和社会的发展，推进水利事业的发展。因此，水文化研究不仅要发掘、整理我国水利事业的历史宝库，还要引导水利事业如何用高新科技来武装。

3. 有利于提高水利行业各级领导的水平

当前在水利界正在探索一条新的治水思路——实现从工程水利向资源水利的重大转变，把水资源同国民经济和社会发展联系起来，进行综合开发，科学管理。要在继续抓好水资源的开发、利用、治理的同时，加强水资源的配置、节约和保护，特别是要通过对水资源的优化配置来满足经济和社会可持续发展的全面要求，使水资源在整体上发挥最大的经济效益、社会效益和环境效益，走可持续发展的道路。因此，水利行业的各级领导应该具有较浓厚的水文化意识，从理论上弄清水与社会的关系，这样就能更好地站在工程水利向资源水利转变的前列，带领全体水利职工，把水利事业推向一个新阶段。

第 24 章　滨江地区水生态景观体系建设实例

24.1　江阴市水生态调控研究

24.1.1　现状特征分析

1. 优势

江阴市在水生态方面的优势表现为水面率较高，湿地资源丰富，部分河湖水生态环境质量较好，地下水得到较好保护以及经济发达，水利管理力度较大等。

2. 问题

江阴市在水生态方面存在问题主要表现为：许多河道水环境质量恶化，水面率呈逐年下降趋势，部分河道采用了不利于水生态系统健康的工程措施，水生生物减少，滨水防护绿地建设不足，面源污染呈逐年上升的趋势，开山采石导致的水土流失与景观生态破坏现象较严重，水生态环境保护压力较大等。

24.1.2　调控原则与目标

1. 原则

自然生态原则：努力建设和保护水生态系统原有的结构和功能，创造符合自然生态的水生态环境，保持生态系统的自我修复能力。

“自然—经济—社会”复合生态系统原则：协调好水资源开发和经济发展之间的关系，维持人类与水生态系统的协调性与和谐性，实现当地经济、社会、水资源、水环境、水生态、水景观、水文化的协调与可持续发展。

2. 目标

江阴市水生态调控的总体目标是：针对现有水生态问题，以水为纲，通过节水治污、水资源合理配置、湿地/滩地保护、水源地的保护、清水走廊的建立、生态工程措施的采用、防护绿地的建设、水土保持以及水资源统一管理等经济、技术、工程与管理措施，以促进人水和谐、保持城市水生态系统平衡和可持续发展为总目标，将“生态江阴”目标纳入社会、经济发展总体规划，提高水资源及水环境的承载能力，恢复地下水位，维护水生生物资源多样性，提高水生态系统生物多样性水平，增强水生态系统的服务功能，建设城乡滨水绿地、生态湿地和优良水景观，促进水资源、水环境、水生态、水景观和水文化的健康、持续发展，确保城乡建设和人民生活的水生态安全。

3. 分期目标

水域生态系统是一个涉及许多因素的复杂系统。为了定量说明江阴市水生态的特性，便于规划目标的实现和管理，根据江阴市水生态现状，参考国内外有关资料，初步提出水面率、水环境、湿地、植被覆盖率、岸带植被覆盖率、地下水、水生态功能保护区面积率

和水域生物多样性指数 8 个指标作为规划的指标体系。

规划分为近、中、远三期，各分期具体目标为：

近期（2010 年）：清除城市河道两岸垃圾、杂物和违章建筑，部分河道边坡恢复植被；按具体条件河道两岸至少划出宽 10m 以上的防护林带，沿河道路与河道之间建立林带和种植草皮、灌木。

中期（2020 年）：至 2020 年，基本完成河道综合整治和两岸的林带建设，河流、湿地基本恢复，水质明显好转。

远期（2030 年）：至 2030 年，完成河道两岸综合整治，水生态建设成效显著，景观河道两岸完成景观建设，具有旅游、休闲功能，人类与自然和谐相处，人口、资源、环境、经济、社会协调发展。

各期的具体目标见表 24.1。

表 24.1　　江阴市水生态环境分期调控目标

指　　标	近期（2010 年）	中期（2020 年）	远期（2030 年）
水体水面率（%）	13	≥13.1	≥13.3
水功能区达标率（%）	初步达到	达到	优于Ⅲ类（包括Ⅲ类）的水体比率达 95%
城区截污面积率（%）	>70	>80	100
镇级以上河道和湖泊岸带植被覆盖率（%）	100	100	100
镇级河道岸带植被覆盖率（%）	50	70	≥90

24.1.3　水生态功能区划

江阴市社会经济发展水平与自然生态环境质量空间差异明显，为了更好地服务于江阴市水生态建设与管理的实践，根据江阴市水体和湿地的自然背景特征，人类对它的开发利用历史，社会经济发展水平，产业空间布局特点以及未来对其社会、经济、生态等功能的需求，从水体自然、经济、社会功能的整体性出发，体现便于操作和管理的原则，将江阴市划分为 5 个水生态功能区，即中心城区水生态功能区、澄西水生态功能区、澄东水生态功能区、澄东南水生态功能区和澄南水生态功能区（图 24.1），并明确各区水体的主要功能、产业结构调整方向、生态环境建设目标和重点以及拟采取的保护和管理措施。

1. 中心城区水功能生态区

调控目标为发展成为社会经济与生态环境协调发展的典范，以经济发展促进生态环境保护，以优质生态环境促进社会经济的发展。对策与措施：

（1）水体功能调整。加强景观娱乐，维护古城风貌景观，创建现代水景观和开展水景生态旅游的功能；维持防洪排涝和接纳雨水的功能；削弱并逐步取消接纳生活污水及部分工业废水排放功能；供水、航运功能。

（2）污染控制。通过产业结构优化升级控制并减少污染。产业结构以发展高新技术产业、港口工业、研发基地、生态农业和现代第三产业为主。提高第三产业和生活污水的处理能力，近期达到 100%的处理率。加强防护绿地，生态驳岸、滨水小游园、滨水景观、生态绿地的建设力度，保护好古城水系。

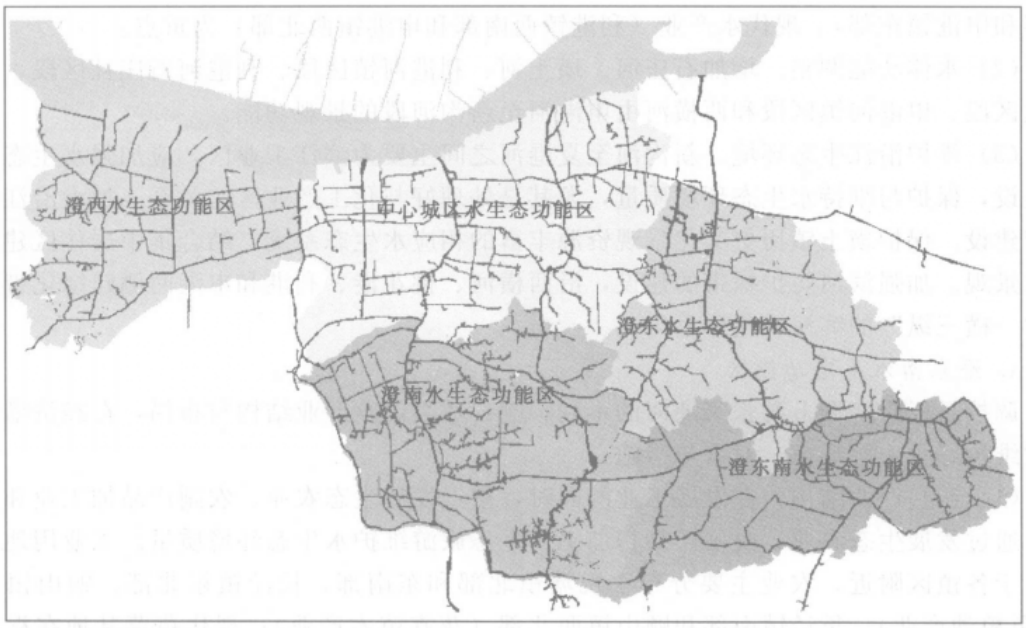


图 24.1　江阴市水生态功能区划示意图

2. 澄东水生态功能区

调控目标为通过多种渠道、采样多种方法治理水环境，逐步走上社会经济与生态环境协调发展的道路。对策与措施：

（1）调整产业结构。通过调整工业产业结构达到控制污染、减少污染的目的。工业产业发展以机械、冶金、建材、轻工、纺织、服装业为主体。工业园区分布仍以镇区为中心展开。加强工业废水的处理，工业废水处理率达到100%。调整农业产业结构，减少水体的面源污染。农业以绿色粮油产业（周庄镇和华士镇北部）、花卉苗木产业（周庄西南部、华士东南部和新桥东北部）、现代蔬菜产业（周庄镇南部和华士镇南部）、现代畜牧产业（周庄镇南部和华士镇南部）为主。旅游农业产业有以“华西都市农业”为主题的生态农业旅游区、新桥的以“阳光生态”为主题的森林苗圃观光区。该区居住区比重较高，生活污水发生量较大，要逐步提高生活污水的处理率。同时，在集中居住区范围内加强滨水景观的建设，促进水生态的改善。

（2）加强河道防护林带的建设，沿张家港河、长寿河、华塘河、华士河等主要河道两侧布置一定宽度的绿化带。维护与改善具有水文化景观资源特色的周庄镇陶城村的水生态环境。

3. 澄西水生态功能区

调控目标为在经济快速发展的同时，维护良好的水生态环境，将经济发展和人口增长对水生态环境的影响降至最小。对策与措施：

（1）调整产业结构。工业以发展一类、二类工业为主，限制发展高污染的三类工业，发展应以生态工业港口及机电一体化加工、精细化工等资金密集型为主；发展方向为沿各镇区向南向北发展。农业以发展生态农业为主，生态农业建设以绿色粮油基地（璜土镇东南部、利港镇西北部和申港镇西南部）、经济林果产业（璜土镇东南部、利港镇西北部和申港镇西部）、现代蔬菜产业（利港镇西南部和申港镇西北部）、现代畜牧产业（利港镇东

南部和申港镇东部）、现代水产业（利港镇西南部和申港镇西北部）为重点。

（2）水体功能调整。增加石庄河、璜土河、利港河镇区段、利港河石庄社区段、大寨河镇区段、申港河镇区段和西横河由申港河至新沟河段的景观功能。

（3）维护沿江生态环境。新沟河至夏港河之间主要为滨江工业区，应加强水生态环境的建设，保护与维持水生态环境质量，尤其是处理好与化工产业区的关系。加大沿江防护林带建设。保护璜土镇历史文化景观资源丰富的相应水生态系统。结合集中居住区建设创建水景观。加强滨河防护绿带的建设，沿西横河、桃花港、利港和申港两侧建绿化带，形成“一横三纵”的滨河绿化体系。

4. 澄东南水生态功能区

调控目标为降低上游张家港河的不利影响，适当调整产业结构与布局，在经济增长的同时维护好水生态环境。对策与措施：

（1）调整产业结构。在发展工业的同时，重点发展生态农业、农副产品加工业和旅游业。通过发展生态农业、农副产品初加工、生态旅游维护水生态环境质量。工业用地主要集中于各镇区附近。农业主要分布于祝塘镇北部和东南部、长泾镇东北部、顾山镇东部（绿色粮油产业）；长泾镇南部和顾山镇西北部（花卉苗木产业）；现代蔬菜基地在祝塘镇西南部和长泾镇南部；现代畜牧产业在祝塘镇西部；现代水产业位于祝塘镇西南部、长泾镇北部和顾山镇北部。

（2）沿张家港河、东青河等主要河道布置绿化带，沿崇村白荡布置绿化景观带。

（3）保护好文林湿地，在其周边加强防护林地的建设，防止污染。

5. 澄南水生态功能区

调控目标为维护河湖湿地生态系统的自然性，尽量减少人为干扰；实现工业、现代农业、休闲旅游业和生态环境的协调发展，体现人水和谐的特色。对策与措施：

（1）调整产业结构。在发展工业的同时，发展生态农业和旅游业。在月城镇西南部、青阳镇西部和东北部、霞客镇北部和东南部建农林用地和绿色粮油产业；在月城镇西部和霞客镇南部建现代蔬菜产业；在青阳镇西南部和霞客镇北部建现代畜牧产业，在月城镇西南部和霞客镇西南部建现代水产业。通过发展生态农业观光园（观光果园、蔬菜、垂钓）来改善并维护水生态环境质量。严格按照生态农业园的要求建设，减少面源污染。

（2）重点建设南部湿地保护区。结合江阴市生态城市建设，充分发挥湿地的旅游、生态、调节气候、美学、文化、教育功能。南部湿地保护区包括马镇—文林湿地、峭岐湿地和桐岐湿地。峭岐湿地位于霞客镇的峭岐，白屈港与冯泾河交汇处。面积大约150亩，水质较好，用于养殖。桐岐湿地位于青阳镇，由几个50～120亩的水面组成，水质较好。规划功能定位为高效无公害养殖、特种水产品养殖、景观生态恢复。在湿地范围内不设立开发区、度假区，不得出让土地，严禁出租转让湿地资源；禁止建设污染环境、破坏生态的项目和设施。严格禁猎、禁止捞水草，吸引鱼类产卵繁殖和鸟类栖息觅食、越冬，吸引部分冬候鸟进入，形成特色景观。

（3）滨河绿化。沿锡澄运河和白屈港两岸建成各宽50m以上的滨河绿化格局。

24.1.4 重要水生态保护区

在上述水生态功能区划的基础上，根据水生态功能重要性以及生态服务功能类型，提

出以下 6 个需要重点保护和建设的水生态功能保护区。

1. 长江饮用水源保护区

具体位置：

(1) 石桥水源保护区：范围从新桃花港口至利港河口，长约 4500m。

(2) 小湾—萧山水源保护区：范围从黄田港口至白屈港，长约 8000m。

2. 白屈港清水走廊维护区

范围为白屈港江阴段及其两岸各 10～60m 的区域。规划在现有滨河绿带的基础上进一步加强滨水防护绿化的建设，将其建成贯穿整个市域的、完整的、连续的、蓝色和绿色生态廊道。

3. 长江滩地保留区

规划保留长江滩地两段。

(1) 石庄滩地保留区，范围从老桃花港至三圩港口。

(2) 长山岸滩保留区，范围从石牌港至长山（张家港界）。

4. 马镇—文林河流湿地保护区

规划范围：西至马公河（白屈港）锡澄公路以西、东至崇村白荡，北至璜塘河和富贝河，南至市界，包括马镇湖庄北荡、朋林白荡、胜水白荡、三百六十亩荡、苏家芦荡和文林的百丈白荡、崇村白荡等湿地以及人文景观（徐霞客故里）。

功能定位：湿地保护、景观、生态旅游和生态恢复。

5. 战备水源保护区

对规划定位为战备水源地的凤凰湖、定山湖、绮山湖、澄西湖、龙东湖、龙西湖、跃进湖、东舜湖和人民湖周围地区及与其有水力联系的河段建立战备水源保护区，按照水源地的要求进行保护。

6. 古城水系生态恢复区

古城水系生态恢复区范围为江阴市古城区内的水系，范围为西起锡澄运河、东至东城河、南至运粮河—澄塞河、北至东横河。古城水系的恢复对江阴市水文化的继承和发扬有较高的意义。可采用生态工程措施，逐步恢复东城河、东横河、运粮河、澄塞河的河流生态功能，建设好沿岸滨河景观。

24.1.5 水生态调控措施

江阴市水生态调控的措施可归纳为八大工程，即污水生态治理工程、农业面源污染调控工程、水生态功能区保护工程、提倡采用生态措施和生态护坡工程、湖泊治理工程、水土保持的生态环境建设工程、饮用水安全的生态保障工程和地下水资源保护工程。

24.2 太仓市水景观格局的构建

24.2.1 河流及其滨水区景观评述

城市滨水区是指城市范围内水域与陆地相接的一定范围内的区域。太仓市水域面积占全市总面积的 35%（含长江水域），加上滨水区的范围则比例更大，这为滨水景观的创建提供了充裕的物质空间。

24.2.1.1 水景观现状

河流及其滨水地带景观元素主要包括水体、驳岸、交通、绿地与开放空间、沿岸建筑与水工构筑物、生物多样性、人的活动等，这些因素相互作用，共同形成整体的景观环境与氛围。

太仓在古代为滨海村落，人烟稀少。三国吴于此屯粮，逐渐发展。元代于刘家港开创漕运后，日益繁盛。明初刘家港为郑和下西洋的启航地和系船安泊处。700年后刘家港港口开发区的建设，是太仓历史上的又一次飞跃。刘家港港区从内河娄江外移到了长江口南岸，由沿娄江东西一线变成了沿长江南北一片，由内河港变成了河口港。港口的演变折射出太仓悠久的历史文化。

1. 水体

太仓现有大小河流4110条，总长度4213.4km。内河历年平均水位2.72m，最高与最低水位相差0.43m，且不少为感潮河段。据有关水文资料显示，其潮型基本属于不规则半日潮型，每日的潮涨潮落构成一道独特的景观。太仓的许多河道年代古老，有些河道经过多次人工改造，构成现状水系景观。

2. 驳岸

经过多年的水利工程建设，太仓水系及周边景观大多已打上了鲜明的人工烙印。除农村地区的河道外，在太仓城区、城镇、开发区的河流两岸，基本为由混凝土、砖石等建筑材料形成的硬质护坡和岸线。这种渠化、硬化的驳岸工程在发挥其有利功能的同时也带来了一系列不利影响，如与水面的高差比较大，亲水性不佳，与水体的自然形态形成不协调的对比，破坏了河流的自然生态功能等。如娄江河为浆砌石块挡墙，城北河为混凝土楼板护坡。

3. 交通

全市作为航道的河流有浏河、杨林塘、七浦塘、盐铁塘。其中，盐铁塘是阳澄淀泖区和太仓市的南北向主要河道，航道南段横穿太仓市市区，造成市区城市河道景观、水质、噪音等环境问题，影响城市形象和市民的高质量生活。由于水质差，沿岸公共建筑、开发空间的不足，沿岸的游览性较差，游船、水上巴士等水上客运交通目前没有开展起来。

陆上交通有与河道平行、垂直两种类型。平行于河道方向有许多滨河道路，垂直于河道的道路与桥梁也很多。在人口密集的城镇，滨河地带往往被居住区、单位以及一些其他建筑所占用，阻碍了滨水地带的连续性。沿岸步行系统和跨河步行系统不完善。农村地区和开发区的滨河路、垂直于河道的道路往往出现断头路。

4. 滨水绿地

太仓市滨河绿地的总体特征为：在城区的沿河两岸绿化较好，在农村地区的河道两侧大多为自然生长的不连续的乡土植被。在建筑与道路紧邻河道的河流两侧，无法形成大规模的滨河绿带。绿带宽度只有几米宽，景观效果不佳，沿线绿化带断断续续，并且与附近的公园、绿地缺乏联系。

5. 沿岸建筑与水工构筑物

作为一个由水而兴起的城市，太仓拥有江南古镇、众多古代建筑、文化古迹等融江、海、河于一体的水文化资源。而且，太仓市历代人才辈出，尤其是宋、元、明、清四个朝

代，文化名人很多，在太仓留下了很多人文景观。这些人文古迹大多集中于城区的致和塘，环城河，沙溪镇的新、老七浦塘，浏河镇的新、老浏河等河道沿岸。其中，列入市级以上文物保护单位的有37处，包括张溥故居、王锡爵故居、新桥、庵桥、义兴桥、浏河天妃宫等。

水工构筑物主要有护岸、闸门、涵洞和大坝等。最近新建的杨林闸、七浦闸、浏河水利枢纽工程、长江堤防等已将工程与景观紧密结合，在实现水工构筑物功能的同时，体现了一定的水景观效果。由于历史沿袭，有些水工构筑物景观效果较差，有些河道沿岸的住宅、仓库、厂房紧临水边。

6. 人类活动

人类活动指在滨河地带进行的规模性的、日常性的、基于滨河环境的特有游憩活动。目前，由于绿带的连续性、步行系统等还不够完善，除了致和塘沿岸外，在滨河地带围绕水为主题的城市居民日常游憩活动、节庆活动，如散步、晨练、野炊、钓鱼、赛龙舟等还不多见。此外，覆盖、填埋和截断河流的现象还时有发生。河道被做了水泥护衬，筑坝蓄水，流水变成了死水、臭水。水与土地分离，导致河流失去自净能力，加剧水污染程度。

7. 生物多样性

由于沿岸造纸、纺织、化工、面粉等工业的发展，河水受到严重污染，逐渐变黑发臭，鱼类和水鸟在城区、城镇基本看不到，农村地区有一些鱼类和水生植物，但与自然状态下的水生生物多样性差距很大，更没有形成特色景观。

24.2.1.2 评价

从景观生态规划角度，全面考察太仓市的水景观，主要存在以下问题：

1. 滨水开放空间被占用较多，现有滨水景观规模较小

除了城区的致和塘局部地段有比较集中和相当规模的人民公园和滨河绿带以及历史文物古迹等滨水景观外，其他地带一般都被滨河道路以及破旧的厂房、仓库、住宅建筑等占据，使得在滨水地带无法布置绿化带。在新规划的工业区与港区内的河道两侧虽已预留绿化带，但绿化还未到位。

2. 滨水开放空间的连续性、系统性较差

城区河道上的桥梁大多数是为满足机动交通而设，专门的步行桥梁数量不多、分布不均，对两岸的相互联系有一定影响。一些滨河岸线被工厂、住宅、港口等所占据，滨水步行系统没有形成，滨水景观的可达性差，降低了滨水地区的共享性，破坏了滨河开放空间的连续性。滨水区作为很多市民休闲娱乐的场所，是城市文化、生活的展示地。滨水地区的活力是以水、水景、滨水景观作为最大凝聚核。但由于以上原因，城市滨水地带没有形成特有的生活场景，使得市民难以近水，也无法吸引和激发人的活动。

3. 河流以及滨水地区的生态功能消失

随着经济的高速发展以及城市化进程的加快，水质变差，而城镇河道两岸的硬质护坡和沿河流走向的堤坝目前几乎无法改变，割断了人与自然的联系，降低了水体自然净化的能力。在市区以及镇区内，绿地以点状的街头小绿地为主，沿河的绿色廊道以及块状绿地较少，城区仅在部分河段有河岸防护绿地。沿河两侧用地控制、改造力度不够，有些河道两岸紧邻建筑物，没有预留绿化带与水景观带的空间。

4. 滨水特点不突出，看不见水，亲水性差

防洪堤高于正常视线，人们在滨河道路行走根本看不见滨河绿地和开阔的水面，难以从视觉直观感觉到河流的存在。滨水地带的景观没有很好地揭示水的存在，滨水场所性不强。绿化、建筑、开放空间都没有形成滨水地区特有的氛围。丰富的人文水景观资源没有得到有效保护和充分开发利用，如刘家港、沙溪古镇。

5. 太仓优越的倚江优势使沿江开发成为城市发展的热点，但缺乏整体统筹规划

目前的沿江开发多种多样，侧重不同，沟通不够。港区从经济布局出发，规划岸线滩地；水利部门从防洪安全出发，规划防洪设施、河势整治；交通部门规划航道码头；城建市政部门规划公用设施布置等。各种规划没有一个在服从长江防洪安全大前提下的总体开发利用规划，造成资源浪费，配置不合理，建设不同步，防护、环境、景观设施落后，影响整体效益。沿江的湿地、滩涂、沿江景观建设滞后。

“景观规划设计三元论”中强调好的景观要实现景观环境形象、环境生态绿化、大众行为心理三元的统一，三元相辅相成构建完整意义的景观环境。从太仓河流及其滨水地区的景观现状来看，优秀景观的“三元”都有不同程度的缺失或受损。

24.2.2 构建原则、目标

1. 规划原则

与城市总体规划等相关规划相衔接；尊重太仓的自然条件，充分利用自然生态要素；尊重太仓历史文化，结合文物古迹；城乡一体，城乡有别；系统、区域与流域性原则。

2. 规划目标

按照人居环境发展的内在需要，以“人与自然和谐共处”为理念，以景观生态学原理为指导，将水景观的建设纳入太仓市景观格局的大系统中，创建国内一流的、现代化的、同时体现太仓自然与文化精神的城市滨水景观，实现滨水空间景观的生态、游憩、文化功能的统一和可持续发展，促进太仓市整体景观的完善、水文化的传承和水旅游事业的发展。

24.2.3 水景观格局

1. 水景观类型

按照景观的属性将水景观分为3种类型，即自然水景观、人文水景观和自然—人文综合水景观。自然水景观主要表现为滨水区自然景观的恢复，如在规划中将大片河滩地完整地保存下来，保护河（江）滩湿地生态系统。人文水景观以人工建造的景观为主，主要布设在人口比较密集的城区和镇区，赋予滨水区（自然景观）以历史地方文化内涵，综合水景观兼有自然和人文水景观的特性。

2. 水景观格局

根据优先考虑城市建成区和重要城镇的原则，利用太仓市纵横交错的水系网，以骨干水系作为空间构架的基础，构建“两带、三轴、三片、六点”的水景观空间格局（图24.2）。

“两带”指在杨林塘和随塘河两岸建成连续的生态保护林带。

“三轴”分别是以浏河、七浦塘和盐铁塘作为水文化景观轴，将城区、沿江和沙溪古镇3个水景观片串联起来。



图 24.2　太仓市水景观规划格局及主要工程布置图

“三片”则为城区片、沙溪古镇片和沿江片。

“六点”即拟新开挖的娄东湖、风荷塘、澜贝湖、金仓湖、紫藤湖和港城湖。

总之，市域以主要河道作为线、以关键城镇作为面、以生态湖泊作为点构成点、线、面相互联系的“二、三、三、六”水景观空间格局。

24.2.4　构建方案

规划方案的总体思路为：在整个市域，通过浏河、七浦塘、盐铁塘等将水景观渗入各水景观片；在片区内部，分别以次一级河道作为水景观规划与建设的载体，从而共同形成内、外空间相互连通、相互嵌合的水景观开放空间系统，为市民提供较好的可达性水景观与良好的人居环境。

24.2.4.1　水景观带规划

1. 杨林塘水生态景观带

杨林塘为苏州阳澄低洼地区和沿江地区的主要灌排河道之一，是一条区域性河道，全

长 43km，太仓境内长 26.35km。杨林塘流经地区大多为农村，沿岸工业较少，受人类活动影响较小，河道景观处于“半自然”状态，水质较好，已被列为苏州市的清水通道，适宜建成人水亲和的自然生态水景观。规划将杨林塘定位为太仓中部贯穿东西的水生态景观带。

在滨河绿色生态廊道的建设过程中，在保护好水质的前提下，按生态水景的要求，维护好河流的自然生态特性，模拟自然生态环境，最终实现水体的自净功能。

2. 随塘河滨江水生态景观带

随塘河是为了修建江堤于 1973 年人工开挖的一条南北向河流，全长 38.2km，流经浏河镇、浮桥镇和璜泾镇。随塘河的定位是太仓东部横贯南北的沿江水生态景观带。随塘河东岸由西至东分别为防护林、滨江大道和长江岸线，建成总宽度不少于 200m 的滨江防护林带，在钱泾口、七丫口两侧建风景林，随塘河西岸建设 20m 宽的绿化带。沿江堤的绿化带包括建设浏河镇段、港区段和璜泾段的滨江防护林带。

24.2.4.2 水景观轴规划

1. 浏河水生态景观轴

浏河西接娄江而达太湖，东至长江而分泄太湖东北阳澄地区之水，为主要入江河道之一，全长 24.5km，太仓境内长 22.6km，河面宽 120～150m，流速为 0.6～1.0m/s。目前，浏河北岸基本已绿化，并已预留了景观带。绿化带西起 204 国道，东至半泾湾，全长约 4000m，其中，太平南路至半泾的一期风光带已建成，二期从盐铁塘至太平南路即将建成，204 国道至盐铁塘作为三期工程待建。

浏河景观定位为太仓市南部地区贯穿东西的水生态景观轴，它是联结城区以及浏河镇两大水景观片的纽带，既作为景观的天然联结元素，又是重要的水景观载体。其主要内容一是建设长江防汛知识教育基地；二是在浏河北岸建成 50～100m 宽的连续的生态景观林带，与现有浏河风光带相连接；三是在浏河口建郑和森林公园，以此纪念郑和这位伟大的航海家，结合沿江旅游开发，供游客参观、游览。

2. 盐铁塘水景观轴

盐铁塘在太仓境内长 25.02km，河面宽 25～40m。它穿越城区，是太仓纵贯南北的骨干河道，也是主要航道，起着调蓄、排涝、灌溉的作用。

盐铁塘的定位是太仓西部天然的南北向水生态景观轴。它是连结历史文化资源丰富的城区和双凤镇的重要景观廊道和载体。

盐铁塘防护林带包括：两岸的林带宽度尽量要达到 20m，在少数用地紧张地段应不少于 10m。其中，近期城区结合盐铁塘老城区段航道改道吴塘以及向北与杨林塘航道沟通工程，建成以绿化为主的滨水风光带，宽度要达到 20m；在双凤镇段建风景林带。中期，结合盐铁塘南郊新城区段改道方案的实施以及河道清淤和涵洞改建工程，建设一批生态型河坡护岸工程和示范水景观。

3. 七浦塘水景观轴

七浦塘境内长 25.5km，河面宽 30～50m，为阳澄低洼区的主要排水通道之一，也是太仓历史上三大区域性河道中疏浚最频繁的一条河道。建国后于 1956 年进行拓浚，东起七丫口，西至直塘镇。沙溪镇市河段，在镇南另开新河，故沙溪镇有老七浦塘和新七浦塘

之分。

七浦塘的定位是太仓中北部地区横贯东西的水生态景观轴。它联结沙溪古镇和港区浮桥镇两个水景观片，以及港城生态景观湖。

七浦塘绿色生态廊道包括：大片经济林地和浮桥风景林，林带宽度至少达到50m，在有条件的地方要达到100m。植被采用乔、灌、草相结合的组合类型，尽可能地利用当地野生品种。

24.2.4.3 水景观片规划

全市重点建设3个水景观片，即城区北景观片、沙溪古镇片和沿江水景观片。在水景观片的规划建设中贯穿“以人为本，宜宽则宽，宜弯则弯，人水相亲，和谐自然”的主题思想。

1. 城区水景观片

城区水景观片规划范围包括老城区（环城河以内）、新区（开发区）和南郊新城区。该片总体上以浏河、环城河、致和塘、盐铁塘、半径和娄江的城区河道作为水景观规划与创建的载体，建设以休闲、娱乐、亲水、健身为主题，以人文水景观为主、自然水景观为辅，同时能体现太仓本土历史文化特色的水景观。具体内容包括：巩固、强化致和塘作为城区水景观文化轴的地位；加强盐铁塘城区段的水环境治理与水景观创建；转变城区河道功能；创建新区水景观。

2. 沙溪古镇片

规划范围包括沙溪镇和双凤镇。重点建设以发挥沙溪历史文化名镇特色为主的人文水景观，发展旅游业。保护、修复沙溪古镇、玉皇阁。以其丰富的人文古迹与富有特色的临水建筑景观为主题，充分发掘宗教旅游胜地玉皇阁的历史，将玉皇阁建成联结境内外游客及宗教人士的胜地。以新七浦塘、老七浦塘为依托，建设以“秀丽水街、文化古镇”为主题的人文水景观，最终将其建成区域性休闲、度假、旅游、观光名镇。

3. 沿江水景观片

该片包括浏河镇、浮桥镇（港区）和璜泾镇。人文水景观以浏河镇为主，打好“郑和”品牌，其次挖掘璜泾古镇的历史。通过随塘河沿长江水体生态防护林带这一自然水景观的建设，将上述的人文景观贯穿起来。

（1）浏河镇。以“郑和下西洋”为主题，以新、老浏河为载体，以浩淼长江风情为特色，将天妃宫、阅兵台等历史人文景观和自然生态景观相结合，充分挖掘浏河古镇的历史底蕴和文化内涵，建设体现传统“小桥、流水、人家”风貌特征的滨水空间景观，创造历史与现代交相辉映的人居环境，最终将浏河镇建成太仓市、上海市的旅游、观光地，从而带动当地旅游业的发展。具体内容包括：创建长江历史博物馆及防汛知识教育基地；修葺天妃宫，恢复天妃宫的历史原貌。在现存天妃宫的布景中大量种植柳树、榉树、朴树等地方植物，利用植物体现历史文化；将郑和森林公园创建为富有特色的滨水景点水上游乐公园；以新闸景点所在地为核心修建浏河公园。

（2）港城。总目标为以发展新型港口经济为依托，体现港口工业风貌，形成现代化的港口风貌水景观区，构建多元化、高水准、体现时代精神的港口景观。具体内容为：创建港城湖公园；修建随塘河沿江生态防护林带；修建杨林塘生态防护林带。

（3）璜泾镇。既要充分利用璜泾镇悠久的历史和众多的文物古迹，注重与地方文脉相融合；也要考虑其自然生态条件，尤其是较长的沿江岸线。具体内容包括：以西塔为标志建设西塔公园，以蒋泾塘为载体与随塘河自然景观连成一片，建成自然—人文综合水景观。保存、恢复与扩大位于原鹿河镇的长江岸线天然湿地。重建长江林场，从而形成太仓市的生态副中心。

24.2.4.4 生态景观湖泊规划

太仓市属长江流域太湖水网地区，市内河网纵横交错，但湖泊资源却非常缺乏。为增加调蓄容量、改善周边生态环境、创建水景观、提高人居环境质量、提供战备水源地、体现多点供水的战略思想、确保全市居民饮水安全，规划拟新开挖娄东湖、凤荷塘、斓贝湖、金仓湖、紫藤湖和港城湖6个人工生态景观湖，其基本情况见表24.2。这6个人工湖不仅可以起到提高水系网络的沟通性，缩短换水周期，美化城市环境，提高人居环境质量的作用，生态湖完善的生态系统建设还能起到截留污染物，净化周围环境的作用。

人工湖泊水景观建设的重点首先是水质保护；其次是水体和湿地功能的保护；再次是沿河沿湖景观的绿化和美化。通过生态景观湖生态系统的建立，污染物控制措施的实施，将使得生态湖水质得到有效保证。“一池碧水戏浮云，千丝杨柳舞春风”的美景将成为现实。

表24.2　　太仓市规划景观湖泊一览表

湖泊名称	位　　置	面积（hm^2）	景观带宽度（m）
娄东湖	十八港以西，半泾以东，新港路以北	85	200
紫藤湖	盐铁塘以东、新浏河以南	50	200
港城湖	七浦塘入江口内侧，米泾、蒋泾分别穿湖而行	23	200
凤荷湖	太平河以北，岳堤河以南	84	200
斓贝湖	沿江高速以西600m左右，渠泾以南，米泾以北	60	200
金仓湖	沪浮璜公路以西1000m左右，浪港贯穿	81	200

24.3　常熟市水文化建设

从当地文化与水文化的特色出发，提出常熟市水文化建设规划主要应从以下6个方面展开。

1. 将水文化建设纳入常熟市的文化建设中

“文化建设”是常熟市政府工作的重点之一。未来城市间的竞争归根到底是文化的竞争，水是常熟市的资源和财富，水给城市带来灵气。水文化在常熟市文化建设中具有举足轻重的地位。在城市现代化进程中要进行以水文化为内容的过程建设，以不断满足城市人民日益增长的文化需求，提高人居环境质量，提高城市水文化品位，促进旅游业的发展。水利（水务）部门应把建设水文化作为推进城市水利工作的一项重要内容，积极研究水文化，自觉运用哲学、社会科学理论指导城市水利建设，着力通过建设富有文化内涵的城市防洪及水景观工程，构建人水和谐的人居生活空间。

2. 治水理念融入水文化

在实现从传统水利向现代水利，工程水利向资源水利、生态水利和可持续发展水利的转变过程中，水利工作面临着许多新情况、新问题与新挑战，水利人必须加强自身学习，努力提高文化素养，增强做好新时期水利工作的能力。水利人不但需要具备较强的水利业务知识，更需要具备政治、经济、历史、人文、管理等多学科知识，以便更好地做好水文化研究、挖掘与建设这篇大文章。

建设水文化的最好途径就是在城市水务建设与管理工作中融入水文化的理念。这就要求首先对常熟市的水文化的遗存、精髓进行总结归纳，理解吸收；然后再落实到日常工作中。城市历史人文遗存作为水文化的载体和平台，可以将水与文化结合，形成独具特色的水文化。首先，水利规划要体现水文化；其次，水利建设要体现水文化。在城市水利建设中注入文化内涵，建设富有文化内涵的水利工程，通过一个个富有文化内涵的水利工程展示形象，让人们切身感受到先进文化的魅力。把城市防洪工程建设和弘扬城市历史文化、展示现代文明结合起来，打造城市水文化，使城市水利工程具有穿越时空的强大生命力，更好地融入城市，为城市增色，为市民服务，并成为城市的重要景观。

3. 做好水文化景观的规划和实施

水文化研究要与水利工作进程合拍，结合水利工程实际，创造性地做好水文化的研究挖掘工作。对形成的水文化研究成果，要认真搞好项目规划，规划要能体现特色、反映历史文化渊源，突出水与文化的完美结合、人与自然的和谐协调。规划要高起点，把水文化景观建设与建筑、旅游、交通、环保、绿化等有机结合，使水文化景观成为展示现代文明的一颗颗璀璨明珠。

（1）明确水文化保护区。常熟古城区集中了众多人文历史文化景观资源，应明确需要保护的水文化景观资源，作为历史文化风貌区加以保护。这些历史古迹主要包括保护古河道琴川河及其沿岸传统民居保护区、西泾岸传统民居保护区、南泾堂传统民居保护区3片历史文化保护区；力争恢复遭到破坏的有历史意义的水文化景观，重点保护和整治以水取胜的燕园、曾园、赵园、方塔、墨井、唐氏宅园和荷香馆张宅等文物保护单位，使水文化遗产世世代代继承下去。

（2）创建现代水文化，促进水文化升华。传统的水文化蕴藏着丰富的内涵和优秀的成果，是千百年来治水英雄先进事迹的结晶，也是新型水文化必须继承的“内核”。常熟市水利部门必须总结概括传统水文化和行业精神，使其升华发扬，变“自在文化”为“自为文化”。根据时代要求和水利（水务）行业两个文明建设的发展情况，适时提出追求的新目标，对新的条件下行业形成的思想风貌、价值观念、行为准则等文化因素作出概括，促进水文化进一步完善；编印水利行业古今英雄楷模事迹，制定水利职工职业道德规范，塑造良好的水行业形象；利用新闻出版、广播影视、网站等大众媒体宣传水文化；创作以水为主题的文学艺术作品。

（3）要结合水景观、水利工程建设现代水文化。水景观是水文化的载体，在水景观以及有关水利工程建设过程中可方便地融入能反映现代气息的文化特色。分析城市水景观的文化内涵，通过规划和建设富有文化内涵的景观，保护和发展景观的自然价值和文化价值。“城市水资源综合规划”不仅应系统地研究水文化，认识水文化在城市发展中的作用，

挖掘水文化的价值；同时应积极创建具有时代特点、适应城市人居需求的现代水文化，将城市水文化的挖掘、保护和建设纳入城市水利工作内容之一，这也正成为当前水景观规划和建设的新趋势。水景观规划提出的“一线、一轴、三带、三圈、八点”的空间格局旨在创建富有文化内涵的滨水景区、景点，体现了传统文化与现代文化的融合，体现了浓厚的地域文化特征。如在琴湖、昆承湖的水景观规划建设时，设计一些体现现代水文化的小品，如亲水公园、中国园林理水方式等。

（4）加强古代文化与现代经济的结合。常熟历史上经济文化发达，艺术流派纷呈，传统工艺精美，加上丰富的时岁节日和独具特色的地方名产，形成内涵深厚的文化传统，水利建设应通过发掘水文化，结合城市水利现代化建设，弘扬水文化，积极开展水文化研究与实践活动，赋予水以鲜明的时代气息和深厚的文化内涵，实现古代文化与现代经济的完美结合。

4. 继承和发扬优良水文化传统

水文化是社会文化在水利行业的反映。我们必须吸收其中的优秀成果，摒弃消极因素，建立适合现代要求的新型水文化，全面促进水利行业的两个文明建设。常熟人杰地灵，交相辉映。历史上的名人名迹融合于独特的自然景观。尚湖、沙家浜均为重要的水景观资源，要充分利用此类资源，保持并发扬常熟内涵深厚的水文化优良传统，尤其要继承人文历史中先贤思想的精髓。例如，在尚湖举行一年一度的“尚湖水文化节”，宣传治水人物的事迹，丰富“尚湖牡丹节”、“国际划水节”的水文化内涵，弘扬水文化艺术，在沙家浜举办主题为“革命教育”和“生态湿地旅游”的常规性的红色旅游活动。常熟的特色节庆也是可资开发的水文化资源。如农历三月初三，相传为真武诞辰，该日虞山祖师庙香火鼎盛，善男信女成群结队，登山烧香“报娘恩”完愿，然后去西门外尚湖中乘小船，荡漾湖上，此举被称为“摇出水”。另有“三月三，行人束山腰”民间胜景。

5. 充分利用水利行业的文化设施

提供完善的水文化设施，主要包括水行业的各种文物、古迹及现代游乐设施。在城市现代化进程中进行以水文化为内容的过程建设，提高城市水文化品位和人居环境质量，促进旅游业的发展。科学教育、文体卫生、图书、新闻舆论等文化设施是水文化中的外显文化，它可以促进新型水文化的丰富、完善、提高和升华。通过外显文化弘扬治水精神、歌颂英雄楷模、展现职工风采、饱览大好河山，起到潜移默化的教育、娱乐和审美作用。如在琴湖、尚湖举办游泳、跳水、水球、划船、赛艇、皮划艇、帆板运动、摩托艇运动、水橇运动、滑水板、冲浪、潜水运动、水下摄影等水上娱乐活动。还可以举行一些读书节、钓鱼节、文化节，水上游乐项目等。

6. 着力塑造好水利行业新形象

行业形象是行业文化的范畴。要着力塑造好水利（水务）行业形象，繁荣水利文化。通过文艺活动、宣传活动、公关活动等宣传工作，让全社会了解水利职工的风采，了解水利的基础性和制约性，了解水利行业的丰功伟绩。

参 考 文 献

[1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystem [M]. Washington D. C:

Island Press, 1997.
[2] Hughes R M, Larsen D P. Ecoregions: an Approach to Surface Water Protection [J]. Journal of the Water Pollution Control Federation, 1988, 60: 486 - 493.
[3] Isaac B. The Conceptual Development and Use of Ecoregion Classifycations [D]. Master's Thesis, Corvallis, Oregon, Oregon State University, 1999.
[4] Kart J. R, Dudley D R. Ecological Perspective on Water Quality Goals [J]. Environmental Management, 1981, 5: 55 - 68.
[5] Omernik J M, Bailey R G. Distinguishing between Watershed and Ecoregion [J]. Journal of American Water Resources Associatio n, 1997, 33 (5), 935 - 949.
[6] Forman, R. T. T., Land Mosaics: The Ecology of Landscape and Regions. Cambridge University Press. 1995.
[7] Forman, R. T. T., Godron, M.. Landscape Ecology. New York: John Wiley & Sons. 1986.
[8] Juliette Kuiper. Landscape Quality Based upon Diversity. Coherence and continuity. Landscape planning at different planning - levels in the River area of The Netherlands. Landscape and Urban Planning. 1998, 43: 91 - 104.
[9] Laurie, M. An Introduction to Landscape Architecture. American EISEVIER Publishing Company, INC, England. 1975.
[10] Robert L. Ryan. Local Perceptions and Values for a Midwestern River Corridor. Landscape and Urban Planning, 1998 (42): 225 - 237.
[11] Turner, T. Landscape Planning. Nichols Publishing, New York. 1987.
[12] 福尔曼，戈德罗恩等著．肖笃宁，张启德等译．景观生态学 [M]．北京：科学出版社，1990.
[13] 蔡庆华，唐涛，刘建康．河流生态学研究中的几个热点问题 [J]．应用生态学报，2003，14 (9)：1573 - 1577.
[14] 陈求稳，欧阳志云．流域生态学及模型系统 [J]．生态学报，2005，25 (5)：1185 - 1194.
[15] 邓伟，严登华，何岩，等．流域水生态空间研究 [J]．水科学进展，2004，15 (3)：341 - 345.
[16] 傅伯杰，陈利顶，刘国华．中国生态区划的目的、任务及特点 [J]．生态学报，1999，19 (5)：591 - 595.
[17] 傅伯杰，刘国华，陈利顶，等．中国生态区划方案．生态学报，2001，21 (1)：1 - 6.
[18] 傅伯杰．景观生态学原理及应用 [M]．北京：科学出版社，2001，43 - 72.
[19] 侯学煜．中国自然生态区划与大农业发展战略 [M]．北京：科学出版社，1988.
[20] 马世骏，王如松．复合生态系统与持续发展，复杂性研究 [M]．科学出版社，1993，239 - 250.
[21] 孟伟，张远，郑丙辉．水生态区划方法及其在中国的应用前景 [J] 水科学进展，2007，18 (2)：293 - 300.
[22] 倪深海，崔广柏．黄河干流河道生态环境需水量的计算 [J]．人民黄河，2002，24 (9)：37 - 38.
[23] 欧阳志云，赵同谦，王效科，等．水生态服务功能分析及其间接价值评价 [J]．生态学报，2004，24 (10)：2091 - 2099.
[24] 钱正英，张光斗．中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告 [M]．北京：中国水利水电出版社，2001.
[25] 水利部海河水利委员会．海河流域水生态恢复研究（初步报告）[R/OL]．北京：水利部，2002.
[26] 王根绪，刘桂民，常娟．流域尺度生态水文研究评述 [J]．生态学报，2005，25 (4)：892 - 903.
[27] 王如松，欧阳志云．生态整合—人类可持续发展的科学方法 [J]．科学通报，1996，41（增刊)：47 - 67.
[28] 翁文斌，王忠静，赵世忠．现代水资源规划一理论、方法和技术 [M]．北京：清华大学出版社，2004，1.

[29] 吴刚，蔡庆华．流域生态学研究内容的整体表述［J］．生态学报．1998，18（6）：575－581.
[30] 严立冬，岳德军，孟慧君．城市化进程中的水生态安全问题探讨［J］．中国地质大学学报（社会科学版），2007，7（1）：57－63.
[31] 杨勤业，李双成．中国生态地域划分的若干问题［J］．生态学报，1999，19（5）：596－601.
[32] 尹民，杨志峰，崔保山．中国河流生态水文分区初探［J］．环境科学学报，2005，25（4）：423－428.
[33] 张彤，金洪钧．美国对水生态基准的研究［J］．上海环境科学，1996，15（3）：7－9.
[34] 周丰，刘永，黄凯，等．流域水环境功能区划及其关键问题［J］．水科学进展，2007，18（2）：216－222.
[35] E. 马卓尔（王凤慧译）．景观综合：复杂景观管理的地生态学基础［J］．地理译报，1982.1（3）：17－25.
[36] A.Γ. 伊萨钦科（王化群译）．景观调查与景观图的编制［M］．长春：吉林科学技术出版社．1956.1－22.
[37] 郭红雨．城市滨水景观设计研究［J］．华中建筑，1998，16（3）：75－77.
[38] 侯莉钗．北京滨水区景观规划的研究—以门头沟区妙峰山镇永定河为例［D］．北京林业大学硕士论文，2006.
[39] 金云峰，徐振．苏州河滨水景观研究［J］．城市规划汇刊，2004（2）：76－80.
[40] 景贵和．景观生态学．见：现代生态学透视［M］．北京：科学出版社．1990.71－86.
[41] 康相武，潘伯荣，周华荣．干旱区廊道景观及其研究之管见［J］．干旱区研究，2000，17（3）：64－70.
[42] 刘滨谊，周江．论景观水系整治中的护岸规划设计［J］．中国园林，2004，03：49－52.
[43] 刘茂松，张明娟．景观生态学—原理与方法［M］．北京：化学工业出版社，2004.47－49.
[44] 刘树坤．水利建设中的景观和水文化［J］．水利水电技术，2003，34（1）：30－32.
[45] 刘庭风．小区亲水性研究［J］．中国花卉园林绿化，2001，（7）：12.
[46] 刘晓涛．城市河流治理若干问题的探讨［J］．规划师，2001，17（6）：64－67.
[47] 刘玉杰．现代景观规划设计诊释—由西蒙兹的《景观设计学》谈起［J］．中国园林，2002，19－22.
[48] 马军山．城市滨河景观设计模式研究［J］．规划师，2004，20（3）：49－51.
[49] 裴相斌．从景观学到景观生态学．见：肖笃宁主编．景观生态学：理论、方法及应用［M］．北京：中国林业出版社．1991.82－85.
[50] 齐实，莫建玲．流域景观的类型及其规划与设计［J］．中国水土保持，2001（12）：15－17.
[51] 苏英．地面封闭对城市水环境的危害［J］．城市环境与城市生态，1998（12）：31－32.
[52] 孙鹏，王志芳．遵从自然过程的城市河流和滨水区景观设计．城市规划，2000，24（9）：19－22.
[53] 汤晓敏，王云．滨水景观的规划设计模式探索．上海农学院学报，1999，17（3）：182－188.
[54] 唐剑．浅谈现代城市滨水景观设计的一些理念［J］中国园林，2002（4）：33－38.
[55] 陶济．景观美学的研究对象及主要内容［J］．天津社会科学，1985（4）：45－50.
[56] 汪松年．上海市景观水体水质调研及分析［J］．中国水利，2004（12）：40－42.
[57] 王洪道，窦鸿身，颜京松，等．中国湖泊资源．北京：科学出版社，1989.
[58] 王建国．世界城市滨水区开发建设的历史进程及其经验［J］．城市规划，2001，25（7）：41－46.
[59] 王薇，李传奇．城市河流景观设计之探析［J］．水利学报，2003（8）：117－121.
[60] 王仰麟．景观生态分类的理论方法［J］．应用生态学报，1996，7，增刊：121－126.
[61] 邬建国．景观生态学［M］．北京：高等教育出版社，2000.30－31.
[62] 吴文英．城市滨水区规划的景观生态模式—以福州闽江沿岸为例［J］．闽江学院学报，2004，25（2）：100－103.
[63] 徐慧，徐向阳，崔广柏．景观空间结构分析在城市水系规划中的应用［J］．水科学进展，2007，

18 (1)：108－113.
[64] 徐慧．城市景观水系规划模式研究［J］．水资源保护，2007，23 (5)：25－27.
[65] 肖笃宁等．景观生态学［M］．北京：科学出版社，2003.38－41.
[66] 薛惠锋，苗治平．水域景观美学价值评价理论研究［J］．人文地理，1994，9 (2)：15－20.
[67] 俞孔坚．论景观概念及其研究的发展［J］．北京林业大学学报 1987，9 (4)：433－439.
[68] 岳隽，王仰麟，彭建．城市河流的景观生态学研究［J］：概念框架．生态学报，2005，25 (6)：1422－1429.
[69] 张惠远．景观规划：概念、起源与发展［J］．应用生态学报，1999，10 (3)：373－378.
[70] 赵彦伟，杨志峰．城市河流生态系统健康评价初探［J］．水科学进展，2005，16 (3)：349－355.
[71] 宗跃光．城市景观生态规划中的廊道效应研究—以北京市区为例［J］.·生态学报，1999，19 (2)：145－150.

第6编　滨江地区水权及水市场理论

第25章　水资源属性和水权

25.1　水资源属性

25.1.1　水资源的整体性

水资源是一种具有整体性的自然资源。水的流动决定了水是以流域为单元进行汇集、排泄的，整个流域是一个完整的系统，上下游、左右岸、干支流相互影响。从利用角度看，水资源又是多功能的，它有供水、灌溉、水产养殖、发电、航运、旅游、环境和生态保护等功能，常常是一水多能、一水多用，构成了一个综合体。另外，水资源在年际和年内变化大，有时洪涝成灾，有时干枯少水，这种随机变化要求水资源的兴利须与防洪、抗旱、排涝综合考虑。水资源的这种整体性特征客观上要求必须对水资源实行统一规划和统一管理，要按照水资源的禀赋条件和对水资源各种功能的不同需求，统筹安排，兼顾、协调上下游、左右岸、不同地区、不同行业、不同用户之间的利益，合理、公平、有效地分配水资源，力求达到整体效益最佳，即社会效益、经济效益和生态环境效益相统一的综合效益，实现水资源的可持续利用。

水资源需要统一规划、统一管理。实践表明：水权交易不能完全由市场自由进行，必须接受政府的监管，经过审核，符合水资源统一规划要求的，水权交易才能允许进行。

25.1.2　水资源的外部性

水权交易在给交易双方带来收益的同时，还可能带来外部效应，即对第三方利益或生态环境造成影响。对第三方利益的影响主要有：

（1）当上游水权人将水权出售给消耗型用水（即使用后的水不能全部回流到原流域系统）的用水者后，必然引起下游水量的减少和水质的下降，从而抬高下游取用水的成本。

（2）在水权人将水权转让给比其污染程度更重的用水者后，势必带来水质下降而影响到后续使用者的利益。

（3）当水权大量售给外区域或外流域时，会对本地区或本流域的经济发展产生消极影响，减少就业机会。

对生态环境的影响主要表现在：

(1) 对水权售出地区生态环境的不利影响。水权交易尤其是大规模跨流域的交易，会改变原有的水资源状况，可能会诱发生态环境的变化，产生负面影响。典型的例子如俄罗斯的北水南调工程，它调出水量仅为1%～3%，却造成了原流入喀拉海的淡水量和热水量的减少，影响了喀拉海的水温、积水、含盐量、海面蒸发及能量平衡，导致极地冰盖扩展增厚，春季解冻时间推迟，原来短暂的生长季节再度缩短半个多月，使西伯利亚大片森林遭破坏，风速加大、春雨减少、秋雨骤增，严重影响了农业生产。

(2) 对水权买入地区生态环境的不利影响。水权交易有可能使水中的某些有害物质或病菌随着水的输送而带到或传播到水权买入地区，使疾病蔓延或影响到其生态、生物等方面。

(3) 对输水沿线生态环境的不利影响。由于水具有流动性和渗透性，在输水的过程中，水的渗透会打破沿线区域水量的平衡，严重的可能导致沿线土地渍涝，土壤盐碱化等，使土地肥力遭破坏和粮食减产等。

水权交易中外部性的存在表明：水权交易不能任由市场自由进行，必须由政府代表公众利益加以监管，实施可行性评价；必须从社会成本角度考察所得不少于所失的水权交易才能批准进行。

25.1.3 水资源的地域性

水资源的分布具有明显的地域性，而水资源的利用都是其自然形态——液态，很难经过人工的提炼而在体积上得到压缩，致使水资源的利用必须借助于可以改变水的流向的输送渠道或管网系统，远距离的运输成本会十分高昂。这样受运输成本所限，水资源难以像其他商品一样可以自由流通，流通范围相当有限，使水资源的生产和交换具有很强的地域垄断性，供需双方不能像其他商品交易一样可自由选择，供需双方数量少，这种情况西方经济学称为“小数市场”，难以形成充分竞争的市场。

水资源的地域垄断性表明：水权交易很难形成全国性统一的市场和全国性的价格，只有区域性市场和区域性的价格。水权交易市场从来就不是一个完全的市场，存在着缺陷。对于这种垄断性市场，政府必须实施监管以维护市场的公平与效率。

25.1.4 水资源的不可或缺性和不可替代性

水资源对人类生存和社会发展而言，是不可替代、不可或缺的，它的数量和质量关系到一个国家的粮食安全、经济建设安全、生态系统安全和社会政治安全，也关系到一个国家的可持续发展能力。可以说，它是一种涉及国家安全的重要战略资源。水资源的不可或缺性和不可替代性表明：在水资源配置中，更应该坚持社会的公平性。

25.2 水权理论概述

关于水权，在水利行业内和一些学术机构，近年出现了各种不同的解释。

(1) “一权说”。周霞等认为，“水权一般指水资源使用权。”

(2) “二权说”。汪恕诚在《水权与水市场》一文中论及：“什么是水权？最简单的说法是水资源的所有权和使用权。”有的学者在“二权说”基础上提出了水资源权属的层次划分理论。他们将水资源的使用权进一步分为自然水权和社会水权，其中自然水权包括生态水权和环境水权，社会水权包括生产水权和生活水权。水权的“二权说”不属于学理性

的分析，而是实用性研究。它是基于我国的水法和水权改革的实际而加以阐述的。

（3）“三权说”。姜文来认为：“水权是指水资源稀缺条件下人们对有关水资源的权利总和，包括自己或他人受益或受损的权利，其最终可归结为水资源的所有权、经营权和使用权”。

（4）“四权说”。有的学者从产权理论的一般原理入手来讨论水权问题。实际上，产权就是对财产的所有权（广义的），包括归属权（狭义的所有权）、占有权、支配权和使用权。它是经济主体通过财产（客体）而形成的经济权利关系，其实质是由于物的存在和使用而引起的产权主体之间的行为关系。因此，与此对应，水权也就是水资源的所有权、占有权、支配权和使用权等组成的权利束。

此外，有人认为水权是“水产权”的简称，是一个权利束，有“丰富的水产权内涵”等。还有人指出，水权分水资源水权和水利工程水权。水资源水权是国家的政治权利，水利工程水权是所有者的财产权利；前者的权利是收税，后者的权利是收费。

什么是水权？从国外水法律法规中，可以看到对水权较为统一的解释。《菲律宾水法》第13条第2款规定：“水权是由政府授予的取水用水权”。澳大利亚水权制度较为发达，在澳大利亚官方网站的《水改革》一文中，“property rights（财产权）”指一种权利，这种权利在使用的时候，要允许它可以交易或转让给他人。在澳大利亚《水权的永久交易规定》中，“water rights（水权）”指水的使用或交易权。综上所述，可以得出这样一个认识：有些存在水权制度的国家，水权是指水资源的使用、收益权。水权是独立于水资源所有权的一种权利，是非所有人依法享有水资源的使用和收益的权利，即一种“用益物权”。它的获得或者依照法律的规定、或者通过双方当事人的交易来实现。水权同时也是一项财产权，具有财产权的一般特性。所谓“用益物权”是指对他人所有物使用和收益的权利。水权同传统用益物权有着内在的联系。比如，都以追求的物的使用价值为内容；往往都有明确的存续区间，水权人可依法或合同的约定期限先例权利，合同到期，如不继续延续，权利归于消灭；两者都居于主权利；两者权利客体发生价值形态的变化，如价值改变、减少等，将对权利人的使用、收益产生直接影响。

25.3 水市场运作的可行性

25.3.1 水权市场的法律基础

2002年8月29日，我国通过了修订后的《中华人民共和国水法》，并于2002年10月1日起施行。和旧《中华人民共和国水法》相比，新《中华人民共和国水法》在体例上作了重大的调整，内容上突出了水资源的保护与合理开发利用并重，为水权市场的建立奠定了坚实的法律基础，表现在：

（1）明确了水资源的权属。《中华人民共和国宪法》和原《中华人民共和国水法》明确规定，水资源归国家所有，然而到底由哪个具体的部门行使所有权，《中华人民共和国水法》却没有规定，实际上的水资源所有权由水行政主管部门水利部行使。水资源虽然在静态意义上的所有权是明确的，但其财产收益和损失由谁负责却不甚清楚。关于水资源使用和管理的规定散落在《中华人民共和国水法》和其他相关法律之中，多权力性规定，少权利性规定；多公法性规定，少私法性规定。部门之间的水资源管理权界不清，遵循的是

“统一管理与分级、分部门管理相结合”原则，按照这种思想设置的管理体制，形成了“多龙治水”的格局。地表水的开发利用归水利部，水污染防治归环保部门，城市和工业用水归建设部和有关工业部门，农、林、牧、渔供水归农业部等。为数众多的管理部门之间权力争夺严重，难以统一和协调，从而导致了水源地不管供水，供水的不管排水，排水的不管治污，治污的不管回用；工作责任不清；政企不分，效益不佳；缺水无人负责，水源和输水污染责任不清，地面水资源管理的责、权、利不清，造成“公地的悲剧”。而水利部作为水行政主管部门，既管水资源的管理，又管水资源的开发；既负责水工程的建设，又负责水工程的运行，职能相互交叉冲突，效率低下。新《中华人民共和国水法》明确规定了水资源属于国家所有，水资源的所有权由国务院代表国家行使。国务院发展计划主管部门和国务院水行政主管部门负责全国水资源的宏观调配。其含义是国务院代表国家对水资源行使占有、使用、收益和处分的权利。从法律上规定国务院是水资源所有权的代表，也就明确了地方各级人民政府不是水资源所有权的代表，无权擅自处分其境内的水资源，而只能依法负责本行政区内水资源的统一管理和监督，并服从国家对水资源的统一规划、统一管理和统一调配的宏观管理。这符合世界上一般均将水资源作为公共财产，由国家实行统一配置的趋势。新《中华人民共和国水法》把水资源的管理权统一归口由国务院发展计划主管部门和国务院水行政主管部门行使，从法律上结束了“多龙治水”的分裂割据状态。

（2）确立了流域管理机构的法律地位。新《中华人民共和国水法》理顺了流域管理机构和区域管理机构的关系，并规定了由流域管理机构以流域为单元制定水量分配方案，确立了流域管理机构的法律地位。由于水资源大多以流域水资源的方式存在，水权的授权应该从全流域的角度出发合理分配水资源，而我国的水管理以行政区划为主，对江河湖泊的管理进行条块分割，水行政管理制度以行政省、自治区为主，很难规范和调节各省、自治区的用水行为和经济利益，无法规范河流上下游、左右岸和地区之间水资源的使用，水事纠纷不断，虽然设置了七大流域管理机构，但其工作重点是管理中央直属供水工程，负责流域防洪抗旱、排沙、治污及部分流域规划，流域管理机构无权过问其他水权问题，更无法同各地环境保护局、市政公用局和水利局对水权问题达成统一的指挥和管理。

（3）规定国家对用水实行总量控制和定额管理相结合的制度。这制度有利于从宏观上和微观上保证水资源的可持续利用。宏观控制体系在可利用的水资源总量的控制下，明确各地区、各行业、各部门乃至各企业、各灌区可以使用的水资源量。微观定额体系用来规定社会的每一项产品或工作的具体用水量要求。

（4）国家对水资源依法实行取水许可制度和有偿使用制度。根据原《中华人民共和国水法》的规定，国家于1993年出台了《取水许可制度实施办法》，《取水许可制度实施办法》的实施使水资源的无序开采得到了有效遏制，促进了计划用水节约用水和水资源的统一管理，但其中明确规定取水许可证不得转让的规定，已经成为水权流转制度的法律障碍。因此，要想通过市场来配置水资源，必须对《取水许可制度实施办法》进行修改。2006年，国务院出台《取水许可和水资源费征收管理条例》，原《取水许可制度实施办法》同时废止。该条例明确规定了“取水单位或者个人应当缴纳水资源费”；“依法获得取水权的单位或者个人，通过调整产品和产业结构、改革工艺、节水等措施节约水资源的，在

取水许可的有效期和取水限额内，经原审批机关批准，可以依法有偿转让其节约水资源”水资源有偿使用制度成为水资源管理的基本制度之一。

25.3.2 科技发展与技术革新

制度变迁理论说明，技术变迁与制度变迁之间的相互依赖性很高。科学与技术的进步降低了由技术变迁所形成的新收入流的成本，社会科学及有关专业的知识的进步降低了由制度效率的收益（包括在解决冲突时的技能的提高）所形成的新收入流的成本。技术革新不仅增加了安排改变的潜在利润，而且降低了某些安排的成本。技术进步使水资源的市场配置进一步成为可能。

（1）信息技术的发展，尤其是网络技术的发展，使处理信息的成本大幅降低，进一步矫正了信息偏差、信息不准确和信息不及时给市场主体带来的成本增加。水情信息和用水信息可以通过网络及时共享，水文管理者和水资源管理者能随时提供水情信息，并且用户的水权供求信息能够及时被其他用户共享。电子商务的发展使交易对象的寻找更加迅速，加快了由熟人社会向陌生人社会的转变进程。资质评价、信用评价以及咨询服务业的快速发展使交易更加确定和可能。而我国近年来各地涌现出来的电子政务更是加快了信息传递的速度，提高了政府的效率，还可以做到即时监督，加大市场主体的违法成本，保障合约的履行。

（2）分水技术的发展，计量设备的更新，使水资源使用权的排他性不断提高。目前我国农村灌溉用户普遍没有终端计量设备，大水漫灌是主要的灌溉方式，水资源利用效率低。在多余水权可以转让的条件下，如果采用先进的分水技术和更加精确的计量设备，将提高农民的节水积极性，减轻农民的经济负担。

（3）水文技术的发展，水文历史资料的分析与预测，将使不确定性逐步降低。在分析研究长期水文资料和对各用水户的用水量监测的基础上，不但为水资源初始产权的界定提供了条件，也可以根据往年历史资料预测来年的天然来水量，以此来引导市场主体的水权买卖行为。

俄罗斯的“水籍簿”工程极具特色，该工程就是充分利用了水文历史资料，提高了管理的效率并取得了很好的效果，值得我国学习和借鉴。“水籍簿”是俄罗斯的一部对全国水资源及其分布进行普查登记和对用水数量进行长期如实记载，并对水质情况进行详细测定和分析的巨大系统工程，由莫斯科一家专业机构长期组织编纂。这部庞大的资料工程将水资源按照俄罗斯的行政区划，即按共和国、边区、州、区、直辖市等的地理分布来调查、统计和登录。例如，记录某一个州或边区内的河流数目、长度、上中下游的划分情况，以及河流的水位、水深、流量；记录水库的分布、蓄水量、水资源的使用情况（有多少用水单位和用水户，他们的用水量及逐年和逐月的变化情况）、用水的限额和实际遵守情况、水质情况（各种化学成分的含量、有毒物质的情况、水的质量标准）、浑浊情况、含沙量情况等，全部以同一方式分门别类作详细登记。“水籍簿”用计算机管理，检索和查询非常方便。

（4）节水技术、环保产业的发展，使水资源的使用效率不断提高，使水资源的市场配置更加有利可图，进一步促使了水市场的诞生。近年来，滴灌、喷灌等农业灌溉新技术的产生大大降低了农业用水量，节水工业不断发展，每万元耗水量指标不断降低，《清洁生

产促进法》的实行更是为环保产业的发展提供了有力的法律保障。这些有利的技术措施，都将对水权市场的运行提供良好的促进作用。

25.4 水市场运作的必要性

25.4.1 市场经济的内在要求

所有权的基础是稀少性，若是一种东西预期会非常丰裕，人人可以取得，不必请求任何人或者政府的同意，它就不会成为任何人的财产。若是供给有限，它就会成为私有的或公有的财产。水资源长期以来一直作为一种向公共开放的无主资源可自由获取享用，取水数量以取水能力与需要而定。在历史上人口较少、且以农耕为主要谋生手段的时期，农民靠天吃饭，干预自然的能力较弱，水资源供给相对充足，因此，当时水资源的所有权尚未独立出来，只是作为土地资源的附属权利，受土地法的调整。

改革开放后，我国逐步确立了市场经济体制。市场经济是按照价值规律实行商品交换有序竞争的法制经济，市场在国家资源配置中始终起着基础的作用。这一体制的建立，带来了利益的调整、观念的更新、生活方式和组织行为方式的巨大变化。由此国内生产性资源也逐渐过渡为由市场进行配置。如土地使用权通过市场配置产生了巨大的经济效益，而作为经济之源的水资源仍沿用计划手段进行配置，远远落后于市场经济的发展。由于受制于用水许可的限制，往往很多国内急需的、有着良好市场前景的项目无法及时投入使用，已成了经济发展的瓶颈，而有的企业由于技术改造、回收利用、循环使用等原因，可以节省大量水资源，然而由于水权无法交易，就无法在市场上调剂余缺，造成了资源的浪费。政府作为公共利益的代表，面对瞬息万变的经济活动，由于搜寻信息的成本过于高昂，无法掌握所有的信息，自然也无法把水资源配置到高效率的地方。事实上，只有市场主体能够掌握有关自己的所有信息，由于节水并不能给自己带来收益，而粗放用水，加大排污等带来的负外部性却由整个社会去承担，导致了以行政手段配置水资源的社会总成本不断提高。针对我国目前的现实情况，引入水权交易机制，建立水权交易市场，改革现有的水管理体制应该是解决这一问题的有效途径。

25.4.2 不断增加的外部性需要

众所周知，水资源不仅存在着经济价值，还表现为生态价值、环境价值和美学价值等多元价值，由于没有正式的产权制度安排，模糊的产权导致对水资源的过度使用，极大地影响了以上诸价值的实现。1998 年长江大水给人民的生命和财产带来了巨大的损失；由于过度抽取地下水，天津、上海等市已形成不可逆的漏斗形地面；而我们的母亲河——黄河，自 20 世纪 90 年代以来更是年年断流，枯水期不断延长。这样的例子不胜枚举。产权制度的重要功能就是可以使外部性内部化。通过产权制度的设计，使个人成本与社会成本趋于一致。

25.4.3 跨流域调水工程的需要

跨流域调水是政府优化配置水资源的重要手段，我国水资源时空分布不均，地区性缺水严重，通过跨流域调水，可以改善水资源布局，保障缺水地区的经济和社会持续发展，并改善生态环境。

在计划经济时代下的调水工程，缺水量指标往往很高，漫天要价；而通水以后，又反

过来喊水贵，用不起，导致工程建设后老达不到设计规模，这种资源浪费非常明显。国内几乎所有的调水工程，都不同程度地存在这个问题。此外，大型的调水工程往往需要巨大的资金投入，单纯地依靠国家投入不但给国家造成巨大的资金压力，也无法照顾所有地方的利益；而大量的民间资本和地方政府资金却苦于投资渠道狭窄，无法充分发挥资金的效益。通过水权制度的改革，可以充分调动地方和民间资本的积极性，拓展多种投资渠道，减少国家投入，实行股份制，按投资的多少享有不同的股份，加快流域调水设施的建设。

随着社会经济的发展，城市化进程的加快，为了缓解水资源的紧张状况，除了大力抓好节约和保护水资源之外，跨流域调水已经成为我国北方许多城市的必然选择，其中包括南水北调。南水北调工程的实施是在大范围内进行水资源的空间分配，可缓解北方缺水的严峻现实。

现在南水北调工程沿线的各个城市都需要水，就应该按照每个城市的需水量按比例确定相应的股权，实际上确定股权应意味着以一定的代价去取得将来南水北调工程的水权。哪个城市水资源量需要得多，股权就越大，其所支付的代价就越高。这样一来，一方面能够促使各个城市节约用水；另一方面，各个城市在水资源剩余的条件下，可以进行水贸易，从而提高水资源的使用效率。

第 26 章　水市场运作与政府监管

26.1　国内外概况

26.1.1　理论建设

水资源作为宝贵的自然资源和重要的战略资源，越来越受到国际社会的重视。水资源的战略性，首先决定了水资源必须由政府来监管、调控；其次，决定了水资源应该由市场来调节，这就是水权市场的分配。市场的力量在于能够充分挖掘水资源的综合效益，特别是经济效益，政府监管的作用在于确保经市场调节后的经济效益、社会公共效益与生态效益实现统一。

水资源、水市场运作的核心归根结底还是水权问题、水权制度。随着经济社会和工农业生产的快速发展、人口的不断增长和人类生活水平的提高以及水污染的加剧，导致水资源问题、水资源供需矛盾日益突出，国内外都在积极研究制定各自的水权制度，探索水市场、水权交易发展的新途径。目前，我国对水资源使用实施取水许可制度和水资源有偿使用制度。《中华人民共和国水法》第 37 条规定："国家对水资源依法实行取水许可制度和有偿使用制度"用水必须预先取得管理部门的许可，从某种意义上说，就是通过取得取水许可证而取得水权。国外大多数国家的水权制度通常包括：申请水权和获取用水许可的程序、范围；许可用水的条件、期限，用水权的等级，用水权的丧失、终止与转让；以及有关奖励和处罚的原则等内容。

美国的水权制度是美国水资源管理和水资源开发利用的基础，其水权制度建立在私有制的基础上，作为公民的私有财产受到法律的保护。美国的水权法最初为殖民时期的《河岸法》(Riparian Doctrine)，规定毗邻水体和水域的土地所有者拥有水权。到了 19 世纪，西部干旱区水权法采用的是《优先占用法》(Prior Appropriation Doctrine)。其主要法则有 3 个：①先占用者有优先使用权；②水的使用不能损害别人的利益；③不用即作废。其中，用水权的优先次序是由各州政府认定的，拥有优先权的用户可以向比他优先使用次序后的用水户出售用水权，优先次序较后的用户也可以向优先次序较前的用户购买用水权。

俄罗斯 1995 年颁布的《联邦水法》规定，俄罗斯公民必须取得用水许可证后方有权从水体中取用水和从事企业性活动；获取水体使用权的依据是用水许可证以及根据用水许可证所签订的水体使用契约。

澳大利亚的水权法采用河岸权法，规定河岸或湖岸土地占有者拥有水权。农民用水必须向政府主管部门申请用水权。

日本的《河川法》对水权的内容和获取条件作出了规定，并把水权划分为灌溉水权、工业水权、市政水权、水电水权和渔业水权等几种。水权的优先权基本上遵循占有优先的原则，但在干旱时期，引水优先权要经过干旱协调委员会的协商。

智利在1981年颁布的新水法中规定，水是公共使用的国家资源，但根据法律可向个人授予永久和可转让的使用权，并由水董事会负责水市场的运作，而各个地区的水市场运作则由当地的用水户协会负责。

从各个国家的用水优先权来看，一般都规定家庭用水优先于农业和其他用水，但在时间上则根据申请时间的先后被授予相应的优先权。当水资源不能满足所有需求时，水权等级低的用户必须服从于水权等级高的用户的用水需要。其中，西班牙水法规定，首先应根据用水权优先等级进行供水；在用水权优先等级相同的情形下，依照用水的重要性或有利性的顺序进行供水；当重要性或有利性相同时，先申请者享有优先权。日本《河川法》则规定：对于两个以上相互抵触的用水申请，审批效益大者，不再考虑“先提出者优先”的传统做法。

26.1.2 国外水市场运作的成功经验

26.1.2.1 国外国家水权市场的理论与实践

各个国家水资源状况、水资源管理体制和水法规制定主体不同，所实行的水权管理体系也不尽相同。实践表明，水资源的市场化配置是大多数国家水权制度发展的趋势。因此，比较与借鉴国外水权市场的先进经验对我国的水权制度的改革具有重要意义。

1. 美国

美国的水资源分配体系和水权是各州以各自的形式发展起来的。在州政府水资源所有权下，水权是一种对水资源的使用权。该权利不是对水资源整体的所有权，而是一种用益权。尽管水权不是对水资源完整的财产权，但水的使用权在本质上也可看作是一种财产权，非经法定程序是不能被损害的。

美国各州拥有自己的水法和水权制度管理体系。如在美国东部，水资源比较丰富，用水户的用水在正常情况下一般都可以得到满足，很少因用水紧张而发生水事纠纷，所以这一地区的水权管理制度制定得比较宽松，采用的大都是滨岸权准则，规定滨岸土地都有取水用水权，且所有滨岸权所有者都拥有同等的权利，没有多少、先后之分。而美国西部水资源紧缺，用水较为紧张，为了保护原用水户的利益不受侵害，则采用了水权优先占用体系，对于水权，规定了“先占用者先拥有，拥有者可转让，不占有者不拥有”等一系列界定原则，还规定获得用水权的用户必须按申请的用途用水，不得将水挪作他用，也不得单独出卖水的使用权；如果要出卖这种使用权，则必须与被灌溉的土地作为一个整体同时出售。另外还规定后来的用水户必须服从于原水权拥有者，不得损害原水权拥有者的利益。

在美国，水权作为私有财产，其转让程序类似于不动产，水权的转让必须由州或法院批准，且需要一个公告期。美国有不少调水工程，对于这些调水工程的用水户，一般允许其对所拥有的水权进行有偿转让。

在美国的水权市场中，水权咨询服务的公司在美国水权交易中发挥着非常重要的作用，几乎所有的水权交易都要通过水权咨询服务公司，为水权交易提供全方位的服务。服务的内容包括：①对水权的有关档案材料进行鉴定；②完成详细的水权调查报告；③做水权管理计划；④做合成地图；⑤对水权的实际价值进行评估；⑥申请新水权；⑦代理诉讼等。

2. 澳大利亚

澳大利亚水资源属于州政府所有，管理权限主要在地方，传统的水权是附着在土地上一并属于私有。进入20世纪90年代，澳大利亚对水权制度进行了改革，各州把水权从地权中剥离出来，明确水权，开放水市场，允许永久和临时性的水权交易，用水户可以将富余的、不用的水量出售营利，也可将取水权永久卖掉。

无论是临时贸易还是永久贸易，水市场都需要一定的市场规则约束和规范交易行为。澳大利亚是采用政府的政策法规与买卖双方合同相结合的方法来实现水市场交易，在每个州的水法规中都对水权交易程序和买卖合同中的有关内容作出了规定。

水贸易必须以对河流的生态可持续性和对其他用户的影响最小为原则，生态和环境用水必须绝对地得到保证。水贸易必须有信息透明的水交易市场，为买卖双方或潜在的买卖双方提供可能的水权交易的价格和买卖机会。目前澳大利亚利用互联网提供信息，并在网上进行贸易。对于永久贸易，必须由买卖双方向州水管理机构提出申请，并附相应的评价报告，由专门的咨询机构作出综合评价，在媒体上发布水权永久转让的信息，最终由州水管理机构重新向买方颁发取水许可证，同时取消卖方的取水许可证。

3. 智利

智利自从1981年重新修订《水法》以来，已经有了20多年水权交易的经验。智利在1981年的水法中规定，水是公共使用的国家资源，但根据法律可向个人授予永久和可转让的水使用权。

智利在水权管理方面的特色是鼓励发展使用水市场，并成立了全国性质的水董事会，负责水市场的运作。在各地具体由水用户协会负责实施。在某些管理条例的限制下，水权可以通过自由谈判的价格销售给任何人，在智利最频繁发生的是相邻用户之间的水“租借”，水量较小，时间也比较短，有时甚至是几个小时，因此也不需要正式的协议和法律的约束，但正式的水使用权的买卖必须符合法律要求并进行注册，在法律中规定水权以流量计量，但由于流量的变化性，实际操作中一般采用河流流量的份额定义水权。

在智利，水权不仅可以买卖，而且还可以逐步作为抵押品和附属担保品，也就是说，不仅存在水权出让和转让市场，而且存在水权金融市场，用水户个人拥有的水权可作为抵押标的物进行抵押，从有关金融机构获得抵押贷款用于水利建设。

22.1.2.2 国外水权市场的比较及借鉴

世界各国在长期的社会发展和用水实践中形成了自己成文或不成文的水权原则。这些原则的存在均有其历史的合理性，但水权是与具体国家和地区的社会制度、水资源情况、文化传统密切相关的，因此，完全模式化的水权市场是不存在的，比如美国西部各州发展起来的水权管理系统尽管有很大的相似性，但却没有两个完全相同的系统。

通过以上内容，大体上可以对美国、澳大利亚和智利水权市场的理论与实践作如下比较和评论。从总体上看，相同之处有：

(1) 由于水资源的特殊性质，大部分国家把水资源所有权界定为国家所有或各州的全体人民所有，关键的第一步是建立与土地使用权分离的可交易的水权制度或用水制度。

(2) 政府在水权市场的统一管理方面，是加强而不是削弱了管理的力度，政府的管理主要体现在水权的初始分配、公共水权的管理以及生态环境的保护与治理上，把那些竞争

性水权交由市场调配。

（3）水权交易制度的建立也是和整个国家综合水资源管理体制和法规体系的改革紧密相关的，它们相辅相成。如果不改革低效的水资源综合管理体制和法规体系，水权市场的建立会受到种种限制，水权交易的潜在收益也很难得到充分体现。

（4）无论在美国还是在其他国家，为了培育、发展水市场，各国对水权的管理都有一系列的法律法规和水权制度。这些法律对水权的界定、分配、转让或交易都作了明确的规定。

而就各个国家或地区的具体特点来看，由于自然地理条件的不同，经济发展水平的高低，法律传统、历史文化的差异，其水权市场也是各具特色。美国是市场经济实行较早且比较发达的国家，法律体系较为完备，同时又是产权经济学和法律经济学的发源地，所以对于水权市场较易产生思想上的认同。发达的水权咨询服务和水银行是其特点，这和其发达的咨询业也是分不开的。美国水权市场中的“有益用水”的概念也很有其特点，这和美国的实用主义传统有很深的关系。美国的东、西部地区分别采取不同的水权管理制度也是值得我国学习的，水情不同，如果强求一致的话，将增加不必要的制度运行成本。对我国而言，北方是水量型缺水，南方是水质型缺水已是共识，鉴于此情况，在水权制度的设计过程中需要采取区别对待的态度，对症下药才能取得较好的效果并且减少制度运行的成本。从北方的情况来看，应当规定更加严格的优先权顺序，于南方而言，对于水污染的治理、水质的改善则是更加重要。

从澳大利亚来看，实施水改革之前与中国目前的水权市场有很大的相似之处，相比较美国而言，澳大利亚对永久性水权贸易给予更加严格的限制，采取更加审慎的态度。而对于同是发展中国家的智利而言，独立运作的水董事会和水权金融市场是其特色。对于水权“租借”，由于水量较小，时间较短，也不需要正式的协议和法律的约束，智利的水权金融市场更是比其他国家先行一步，可见，智利水权市场的实践更加灵活和务实，因此我们也可以推论，经济的发达程度并非水权市场的主要阻碍。

就我国水权制度的现状而言，水资源配置的市场化是其方向，但具体采取何种方式是值得商榷的。我国正处于计划经济向市场经济的转轨过程中，经济发展极不平衡，现代化的工业和传统的农耕方式并存；传统观念与现代理念相互碰撞交织，新生事物层出不穷，公众参与与民主意识正处于萌芽阶段；政府部门对于社会主义市场经济也还处于认识并不断深化的阶段。受这些条件所限，我国的水权市场的实践不可能一蹴而就，而必须采取渐进的、因地制宜的方式，从局部地区的试点向全国逐步推进。

从这些水权市场运作较为成功的国家的经验进行借鉴，我国的水权市场也应该在政府加强统一管理的前提下进行全过程控制，要通过信息公开制度、登记制度等来保障水权市场的有效运行。建立有益用水的概念，大力培养水权交易咨询服务机构、水环境影响评价机构等中介服务机构，而水权金融市场则要等到水权市场成熟到一定阶段，取得一定经验后才可开放。

26.1.3 国内水市场现状

在通过水资源配置确定初始水权之后，就要通过市场实现水权所有者之间的水权转让与交易。原水利部部长汪恕诚在2000年水利年会上指出，上游和下游、地表水和地下水、

农业用水和城市用水、经济用水和生态用水之间的矛盾可以通过水权交易来解决，水权和水市场是实现资源优化配置的重要经济手段。与此同时，由于水行业是具有公益型和垄断性的行业，因此水市场实质上是一个准市场，流域水资源在兼顾上下游发电、防洪、航运、生态等其他方面的基础之上，兼顾各地区的基本用水需求。因此，它对水资源配置的调节作用离不开政府的宏观调控。政府宏观调控、民主协商、水市场调节三者相结合的管理模式是实现水资源优化配置的必要徐径。

我国首例水权交易出现在浙江省的东阳与义乌两市之间，东阳市多年平均径流量达到8.74亿 m^3，水资源总量16.08亿 m^3，2000年人均水资源量2126m^3；义乌市多年平均水资源总量7.19亿 m^3，2000年人均水资源量1130m^3，远低于浙江省2100m^3和全国2292m^3的水平，市区日均需水量为15万t/d，而供水能力只有9万t/d，水资源相对紧缺。为了实现建设现代国际商贸城的战略目标，急需从境外开辟新的水源。在水利部领导关于“水权、水价、水市场”理论以及政府宏观调控的指导下，通过东阳、义乌双方主管部门的协商，根据资源共享、优势互补、共同发展的思路，最终达成有偿转让部分水使用权的协议。东阳市同意以人民币2亿元的价格一次性把东阳横锦水库每年4999.9万 m^3 水永久的用水权转让给义乌市，并保证水质达到国家现行一类饮用水标准；义乌市从横锦水库一级电站尾水处接水计量，其计量设备、计量室由义乌方投资建设，双方共同管理。义乌市负责向供水方支付当年实际供水0.1元/m^3 的综合管理费（含水资源费、工程运行维护费、折旧费、大修理费、环保费、税收、利润等所有费用）。综合管理费中除水资源费应按省有关文件规定中生活用水其他用水的平均价进行调整外，其余费用一次商定；整个管道工程由义乌市投资建设，并负责统一规划设计；如因东阳市原因，未能按要求供水则每少供1万 m^3 水，东阳市向义乌市负责赔偿1万元；如东阳市毁约，东阳市应双倍返还义乌市已支付的水权转让费，并双倍赔偿义乌市已投入的管道等工程费用及利息；如义乌市未能按合同规定时间付款，东阳市将向义乌市按日征收1‰的滞纳金。逾期1个月以上，东阳市有权暂停供水，直至停止供水。据中国水利网报道，2005年1月6日，从横锦水库到义乌市的引水工程正式通水，这是中国首例结合市场机制的地方性的水权交易，开创了中国水权交易的先河。

此后，甘肃省张掖农民用水户之间的水权交易，宁蒙沿黄地区“投资节水，转让水权”的大规模、跨行业的水权交易，直到上级政府调控下的南水北调初始水权分配等逐渐浮出水面，水权交易对促进水资源优化配置、提高水资源使用效益和缓解水供求矛盾的作用日益显现出来，但是，水权交易在中国是一个新生事物，相关的制度规范还不完善，表现在：

（1）水权所有者界定不清，部门在水资源开发利用方面存在一定的冲突，不利于水权的转让和交易。

（2）取水权配置效率较低，缺乏可预见性与灵活的调节机制。

（3）没有建立起正式的水权交易市场，缺少公平、公正、公开的水权交易平台。

（4）部门分割的水管理体制尚未理顺，多部门管水的体制在一些地区仍然存在，政出多门、剖门分割的水权体制成为水资源优化配置的最大障碍。

26.1.4 滨江地区水权问题

滨江地区，地势平坦，本地径流量较少，过境水量较为丰沛，约为本地径流量的40倍，为滨江地区水源开发利用提供了有利条件。但是，过境水量的年际、年内变化与本地径流量基本上是同步的，枯水年月，外来水亦枯，滨江地区经常无水可用。随着上游地区社会经济的发展，水资源的开发利用程度不断提高，枯水年月上游来水逐渐减少，致使滨江地区用水日益紧缺，生态环境有所恶化，沂沭泗流域、淮河流域尤为明显，这种趋势在今后数十年内仍将存在。滨江地区作为下游地区，汛期承担了较多的防洪任务，而没有获得相应的水资源使用权，这在滨江地区问题比较突出。因此，在流域内争取滨江地区对水资源的合理配额即使用权的合理配额，是需要研究的问题。

1. 滨江地区水资源现状

处于滨江地区的江苏省水资源总量为325.4亿m^3，人均水资源量只有480.9m^3，而新疆维吾尔自治区的人均水资源比江苏省多5292.8m^3，是江苏省的12倍。滨江地区水资源匮乏的主要原因有：

(1) 客观上的原因。像干旱缺水，水资源时空分布不均这些问题，是中国的自然、地理、气象等多方面客观条件造成的，可以说这是“天之禀赋”。这些问题，就目前科学技术的发展水平看，解决起来，能力还非常有限，只能是熟悉它、适应它，在此基础上适当改造它。

(2) 主观上的原因。像水的浪费和水的污染，许多都是人为造成的。其中，较为普遍，也最为严重的是，长期以来，我们的发展观以及干部考核制度存在一些缺陷，有些政府官员把经济的发展错误地理解为是单一的GDP的发展；把GDP的增长看作是自己官职升迁的捷径。有了这样一个观念，他们发展经济就会产生短期行为，用他们习以为常的粗放的方式取得眼前的业绩，在资源的利用上大手大脚，甚至为了取得一时的经济增长，不惜以牺牲污染环境为代价，将成千上万吨有害物质排泄到江河湖海。

(3) 发展和经济增长方式上的原因。中国改革开放以来，经济总量迅速增加，人口也增加了许多，在人口和经济总量都有大量增加、而水资源总量大体不变的情况下，只有用先进的、科学的、节约的经济增长方式，才能使它们相适应。但由于种种原因，这个问题并没有解决好。

(4) 体制上的原因。长期以来，我国水资源的管理，基本上还是单一的、依靠以行政为主导的管理模式，供水和污水处理的主体，绝大多数还是靠国家财政拨款的事业单位。市场在水资源配置中的基础性作用没有得到发挥，水价等促进水资源节约保护的经济手段没有形成，水资源开发利用的主体没有节约保护的内在动力，公众没有参与到水资源管理中来，使得水资源短缺、水污染等问题一直得不到有效解决。

2. 滨江地区水权问题

从总体上看，目前滨江地区水权分配没有得到全面有效控制，对水资源的紧缺性重视仍不够，供水水价与成本严重脱节，造成水资源短缺与浪费现象并存，已影响了社会经济的发展和生态环境的维持。区域间、行业间争水日益增多，水污染事故时有发生，冲淤保港水量得不到保障，湖泊水库经常低于死水位运行，地下水超采现象严重，供水单位难以为继。因此，供水体制改革已势在必行，作为供水体制改革的基础，迫切需要研究区域

间、各用水行业间、不同时期、不同供水条件下的水资源使用权的配置，研究确定水资源供给长期运行策略，以指导水资源实况运行调度。

从实践来看，2005 年 1 月，我国滨江地区首例城市水权交易在浙江省义乌市正式“交货”（即全天正常供水）。有关专家认为，此举开创了中国城市水权交易之先河，对城市缓解水资源短缺及我国水权理论研究是一个启示。首先，应尽快建立区域水市场，培育各类市场交易主体。地方政府作为市场交易主体，是过渡时期的必然产物，是在区域水市场机制尚未建立的前提下，尽快启动地区间水市场，以实现地区间水资源优化配置目的的需要。因此尽快启动区域水市场体制的建设是当前和今后紧迫的任务。培育地区水市场的目的不仅在于培育各类市场主体，还在于促进区域内水资源的优化配置。完善的区域水市场同地区间水市场相衔接，形成互动的水资源市场化配置体系。政府就可以逐步退出水市场交易主体的角色，真正担负起调控者的任务。其次，政府主体情况下的区域内用水户利益保护问题。政府主体情况下的区域内用水户利益保护问题，是指在地区间水市场中作为交易主体的地方政府在将本区域内的用水户的水权转让到其他区域以后，如何保护本区域内各用水户的利益问题。由于区域水市场尚未建立，因此不能通过用水户的水权转让使得各用水户从水权转让中获得应得利益，某些弱势群体的既得利益可能会受到损害。如灌区农民的利益，区域水权转让后，农民的灌溉用水减少了，但如果农民的节水技术和节水设施未能得到提高的话，农民的灌溉利益就损失了，水权转让成为剥夺农民利益的行为。为了保护各类用水户的利益，区域水权转让收益必须用于节水技术和节水设施、水资源保护和开发，并使水权提供者直接获益。这些都是在制定政策时政府所必须考虑的。

26.2 水市场运作及其政府监管的总体思路

26.2.1 指导思想和原则

国际组织、世界各国政府及其研究学者根据水资源短缺的成因，并结合各国政治、经济及社会体制，为加强和改善水资源管理，变革管理制度，都建立了相应的指导原则。

2000 年国际水文科学学会（IAHS）提出：未来水资源管理应坚持流域统一管理的原则。我国水利部提出水资源管理的“五统一，一加强”原则。结合实际，我们认为，水资源和水市场监管的指导思想就是要充分发挥政府宏观监管作用，推进水资源的可持续利用，水市场的可持续发展，构建人与水的和谐发展。为实现稀缺资源永续利用的基本目标，水资源管理应遵循效率、公平、可持续和整体性原则。

1. 效率原则

随着水资源需求的不断增长，水资源逐渐成为一种稀缺资源。为实现稀缺资源价值最大化，在水资源的配置和使用中要遵循水资源配置和使用的高效率原则。效率包括水资源的配置效率和使用效率两方面。配置效率体现了水资源在不同行业、不同用途之间的分配制度的科学性和合理性，不同用水主体间量的比例所产生的综合效益的差异。按照经济学观点，配置效率是指资源利用的边际效益在用水各部门中都相等，以获取最大的社会效益，即水资源配置达到帕累托最优。使用效率是指某个用水主体的投入产出比，反映用水主体的用水行为和用水技术，目的是追求单位资源的最大生产率。水资源使用效率受制于用水主体的技术水平和节水意识，因此，可以运用价格杠杆和定额管理制度，约束用水主

体的用水行为，以实现水资源使用的高效率。

2. 公平原则

公平与效率是经济学中的一对范畴。效率原则反映了资源的稀缺性，公平原则反映了资源的不可替代性。按照经济学家李嘉图的观点，所谓公平就是一切机会均等。因此，对于水资源而言，公平就是一切用水者皆有用水权利，且权利相等。公平原则主要包括：

（1）代内公平。同一流域全体社会成员具有平等享用该流域水资源的权利。水资源应满足不同区域间和社会各阶层间的利益要求，它要求不同区域（上下游、左右岸）之间的协调发展，以及发展效益或资源利用效益在同一区域内社会各阶层中的公平分配。

（2）代际公平。整个人类社会成员都有平等享用水资源的权利，即当代要留给下一代不少于自己拥有的可利用资源量。如果人类活动能维持水资源的再生能力，使后代人得到不减少的可利用水量，就是给后代人提供了同等利用水资源的机会，实现了代际间的公平性。

（3）生态公平。人和水都是自然界的产物，因此世界万物都有平等享用水资源的权利，生态公平就是要实现人和自然的和谐发展。要实现水资源管理的公平原则，必须加强水资源的保护，建立水资源转换的利益补偿机制和水资源使用的约束机制。

3. 可持续原则

自 1980 年国际自然保护联盟（IUCN）发表的《世界自然保护大纲》中提出“可持续发展”以来，对于如何实现可持续发展问题一直成为世界各国制定经济发展战略的重要主导思想。实现经济社会的可持续发展，必须建立在资源可持续利用的基础上，可持续发展原则已成为世界各国在资源配置和使用中普遍遵循的准则之一。可持续原则是指实现水资源系统与经济系统和生态系统协调发展，通过自然再生能力的可持续保障经济发展的可持续，实现代际间的资源分配公平。它以研究一定时期内全社会消耗的资源总量与后代能获得的资源量相比的合理性（陈基湘等，1998），反映水资源利用在度过开发利用阶段、保护管理阶段和管理阶段后，步入的可持续利用阶段中最基本的原则。它要求近期与远期之间、当代与后代之间对水资源的利用上需要有一个协调发展、公平利用的原则，而不是掠夺性地开采和利用，甚至破坏，即当代人对水资源的利用，不应使后一代人正常利用水资源的权利受到破坏。

4. 整体性原则

整体性原则体现了水资源管理中的系统观。按照系统论的观点，自然—经济—社会是一个不可分割、相互影响、相互关联的复合系统，3 个系统既相互独立，又相互关联，是一种共生共长的关系。水资源本身也是一个系统，是自然—经济—社会大系统中的一个子系统，它渗透到自然、经济和社会系统中的每一个环节中。人类开发利用水资源的活动，不仅影响水资源系统本身的变动，同时也影响自然、经济和社会系统各自的状态，影响到三者之间的互动关系。水资源的多重用途属性，决定了水资源开发利用中涉及多个活动主体，解决水资源问题需要多个部门、多种方式协调联动。水资源的流动性、外部性和关联性，造成多个利益主体的行为相互影响、相互作用。为保证水资源系统整体效应的发挥，必须兼顾各利益主体的利益，协调和约束各利益主体的行为。因此，水资源管理中应坚持整体性原则。整体性原则要求在水资源管理中，协调水资源承载力与经济发展的关系，协

调处理上下游、左右岸、支流与干流、非消耗用水和消耗性用水、经济发展用水和生态用水之间的关系，统一水质与水量、开发利用与保护、防洪与使用的管理，整合政策、经济、制度、技术等手段，综合管理水资源。最终目的是实现自然、经济和社会的协调发展，水资源的可持续利用。

26.2.2 基本目标及发展思路

1. 基本目标

在我国水资源国家所有的前提下，以水资源的使用权为代表的水权制度改革方向是“多层次水权交易制度”。具体地说，中央政府分配跨省江河的水权，省政府继续分配跨地（市）江河的水权。这就是一级水权市场上上级政府主导下的计划分配，也可以称为初始水权的限额交易。地方政府代表本区域的利益向上级政府讨价还价争取更大的区域水权，在区域水权明晰的前提下，根据需要进行区域政府之间的水权交易。这就是二级水权市场上区域政府主导下的市场配置。基层政府进一步将水权分配给不同的用水户。有了初始的水权分配定额后，根据各用水户之间节水成本的不同和用水需求的不同，就有可能出现水权交易市场。这就是三级水权市场上用水户主导下的市场配置。在这里，已经属于纯粹的市场机制的运用了，而不再是“准市场”了。因为在三级水权市场上的交易，与一般的商品和要素的交易已经没有本质差别了。

2. 发展思路

根据我国水权制度的历史与现状，根据我国水资源的供需状况，从提高水资源的利用效率和配置效率以及可持续发展的角度出发，借鉴国际经验，我国水权制度创新的目标应是：坚持水资源属国家所有，区分水资源的不同功能属性，遵循所有权与使用权相分离的原则，兼顾公平与效率，通过政府的初始分配，将水权的权能分解并有偿地配置给不同的主体，在此基础上，引入市场机制，培育水权市场，实施可交易水权制度。长期以来，我国对水资源实行“多龙管水”的管理体制，其弊端主要表现在4个方面。

（1）在流域管理上“条块分割”。对同一流域的水资源实行以行政区划为主的分块管理，以致在上下游、左右岸、干支流的协调及水量调度、防汛抗旱、排涝治污以及水土保持、河道航运等方面，往往因为部门、地区之间利益关系或意见不一致而相互扯皮，发生纠纷。

（2）在区域管理上“城乡分割”。水利部门主要负责大江大河的治理、水利工程修建、农业灌溉及城市原水输送，而城市供水、排水则归属城建部门，这种管水体制上形成的“城乡分割”，导致城市和农村在防洪减灾、城乡供水、污染防治、生态环境保护等方面不可避免地存在争取自身利益最大化的短视行为，尤其是在水资源的开发、利用和保护上存在着竞争性开发、掠夺性经营、粗放性管理、用水效益低以及不重视水生态保护等问题。

（3）在功能管理上“部门分割”。同一属性的水资源，在同一区域内，按照不同的功能和用途，被水利、公用、市政、环保、规划、地矿等多个部门分别管理，形成“管水量的不管水质，管水源的不管供水，管供水的不管排水，管排水的不管治污，管治污的不管回用”的尴尬局面。

（4）在依法管理上“政出多门”。多部门管理，使得各部门在自己分管的范围内，均以自己为管理主体，各自为政，造成管理职能相互延伸交叉、政令相互抵触，导致水资源

管理上的混乱。

这种人为分割的多龙管水体制不仅是水资源合理开发、科学配置、优化调度和有效保护的严重障碍，而且成为水市场发展的体制瓶颈；不仅使水资源的开发和利用带有高风险性，给水权的转让交易带来困难，而且会造成水市场管理上的混乱，增加交易成本，影响到水市场的健康发展。因此必须进行管理体制创新，要按照水资源的特点，强化水资源的统一管理，建立从中央到地方、从流域到区域、自上而下、权威高效、运转协调的水资源统一管理体制，为水市场的良性发展提供体制保障。

2002 年 8 月，九届人大常委会第 29 次会议审议通过的新《中华人民共和国水法》强化了水资源的统一管理，确立了国家对水资源实行流域管理与行政区域管理相结合的管理体制，从法律上明确了水资源统一管理具体是通过流域水资源统一管理和城乡水务一体化两个主要层面实现的。

（1）强化水资源流域管理。建立流域范围内的综合管理机构既是水自然属性的内在要求，也是加强水资源统一管理的重要环节。我国现行的流域管理体制比较薄弱，主要表现为，流域管理主体的流域机构权威不够，只是水利部的派出机构，对流域范围内水资源的监控权、执行权、水量的调度分配权有限，难以协调解决流域内上下游、左右岸、干支流在水量调度、防洪、抗旱、治污、水土保持等方面出现的问题。为切实加强流域管理，必须建立起由立法机构赋予职能的、不受区域政府干预的、具有权威的流域机构。流域管理机构享有法定水权和管理权，负责落实国家水资源开发利用战略和政策；负责流域内水量配置、水环境容量配置、规划管理、防洪调度和水工程调度等；统一管理、许可和审批区域的水资源开发和利用；监督行政区域在符合流域管理机构水权许可的情况下所进行的水资源开发利用、防洪工程建设、污水排放等活动。在机构设置上，可借鉴外国流域管理的成功经验，实行流域管理委员会加执行机构的双层体制。成立具有相应职权的流域管理委员会，作为流域范围内各项流域管理事务的总决策机构。其委员应有广泛的代表性，包括流域内各地方的代表、受益户代表以及专家代表等。流域水资源管理的一切重大事项和政策应由流域管理委员会通过表决的办法决定，以充分体现出民主协商精神。在流域管理委员会下设执行机构——流域水资源管理局（即现有的流域机构），具体执行流域管理委员会的各项决策。在管理手段上，除运用计划与行政手段外，应重视引入市场机制手段，实施水权管理、水价管理、市场管理来优化流域水资源配置。

（2）实行区域的城乡水务一体化管理。所谓水务一体化管理，就是在一定区域范围内，由一个部门对城乡的水源、水量、水质、水能、水域、水环境和防洪、供水、用水、节水、排水、污水处理及回用，以及水资源保护等实行统一规划、统一管理，即变“多龙管水”为“一龙管水”。地方政府的水务局是水务一体化的组织形式，这种形式体现了政府对水资源的权属管理，职能统一，提高了效率，负责对取水后的区域供水、配水、节水、排水、污水处理及回用等管理职能，承担对水资源开发利用的建设管理、防洪排涝设施的建设管理等工作。水务局要与水务业经营活动相分离，通过特许经营和招投标等多种与市场经济相适应的方式将经营权出让给企业，并通过监管以实现节水、治污等管理目标。目前全国已有多个城市成立了水务局，成为当地唯一的水行政主管部门。虽然这种管理模式尚待逐步完善，但在水资源开发、利用、治理、配置、节约、保护各个环节的统一

管理上充分显示了体制创新的优势。

26.3 水市场运作模式

26.3.1 水权的分类

水权的分类：水权的类型可以从不同角度加以区分。这里选择两个角度加以分类：一是按水权的排他性大小进行划分；二是按水权的功能差异性进行划分。

1. 从水权的排他性分类

从阿尔钦所述的“私有产权”、“政府产权”和“共有产权”等概念可以得到启发，按照排他性的大小，水权可以区分为国家水权、区域水权（流域水权）、俱乐部水权和人水权。

国家水权是指在一国国境范围内的所有居民都可以享有的水权，在这一范围内，这种水权没有任何的排他性。这种水权一般由中央政府或者其派出机构直接管理。国家水权对于整个国家的居民都存在着开放性。当然由于不同地区居民对享用国家水权的成本是不同的，实际上不可能人人都来享用这些水权。

我国的地区经济是一种“行政区经济”。全国的经济运行，正是这样被分割成许许多多相互隔绝的行政区经济单位。行政区经济功能的强化和“地方政府经济圈”的形成使各级地方政府在现实经济生活中几乎完全成为一个“经济人”，具有追求自身管辖行政区范围内收入最大化的强烈动机。在这样的背景下，区域政府会想方设法争取与区域经济社会发展相关的各种资源。在水资源日渐稀缺的情况下争夺区域水权更是区域政府工作的重中之重。所谓区域水权是指以行政区划为单位、由区域政府管理、在该区域范围内所有居民可以共同享有的水权。与区域水权相对应的是流域水权。由于水资源的特殊性在某些国家和地区实施以流域为单位的管理体制，这时，流域范围内由流域机构管辖范围内的居民可以共同享有的水权就是流域水权。区域水权对区域外的居民或单位具有排他性，而对于区域内的居民没有排他性。但是，由于水资源分布的非均衡性，不同区域或流域之间可能进行水资源的调剂。这时，区域政府或流域管理部门可能成为区域水权或流域水权的代表者，可能会作为一个经济主体参与水权市场。

俱乐部水权是指在某一个较小范围内由某个区域内组织或社团拥有的水权，这种水权按照《中华人民共和国水法》上的提法也可以称之为集体水权。这种水权对于俱乐部内部成员没有排他性，而对于俱乐部之外的成员具有排他性。多数情况下，俱乐部水权由俱乐部成员自主管理、通过社会机制进行配置。

私人水权是指明确由某个用水户使用、支配和让渡的水权。这种水权具有最强的排他性。从国家水权、区域水权（流域水权）、俱乐部水权直至私人水权，其开放性由强到弱直至无，其排他性由无到有、由弱到强。因此，水权的排他性和开放性呈现反向关系。但是，产权界定是要成本的。之所以即使需要成本也要作使产权具有排他性的努力，是因为“产权界定越明确，财富被无偿占有的可能就越小，因此产权的价值就越大。”

我国的水权制度从所有权来说只有国家水权、区域水权和俱乐部水权，还没有私人水权；从使用权来说，各种水权均已存在。2002 年 8 月 29 日第九届全国人大常委会第 29 次会议修订通过的《中华人民共和国水法》第 2 条明确规定：“水资源属于国家所有。水

资源的所有权由国务院代表国家行使。农村集体经济组织的水塘和由农村集体经济组织修建管理的水库中的水，归各该农村集体经济使用。”第6条还规定：“国家鼓励单位和个人依法开发、利用水资源，并保护其合法权益。”新《中华人民共和国水法》根据水权的可分解性，既强调了水资源国家所有这一“所有权”规定，又强调了单位和个人可以合法使用水资源这一“使用权”规定。

与上述水权的排他性与开放性相对应的是水资源的配置效率。作为稀缺资源的水权，排他性越大，水资源的使用效益就越大；反之则亦然。从我国的国情看，水权制度改革趋势是，使水权制度的排他性不断增强。这是由于产权制度的出现本身就是资源日渐稀缺的结果。在水资源相对充裕时，对水资源设置排他性的成本往往高于收益，这是得不偿失的。随着资源稀缺性的增强，设置排他性水权制度的相对成本下降，使得排他性水权制度的建立是有利可图的。

2. 从水权的功能差异性分类

基于水权需求者的用水功能存在很大差异性，可以将水权分类为：家庭水权、市政水权、工业水权、灌溉水权、水力发电水权、航运水权、河道水权、生态水权等。

（1）家庭水权。家庭水权是指那些用于家庭、度假胜地、汽车旅馆、有组织的营地及军营基地等的用水水权。这类用水包括家庭喂养的家禽、家畜的饮用水以及家庭小面积的装饰性灌木丛、花园和果蔬作物的灌溉用水。家庭水权具有较高的优先权。

（2）市政水权。市政水权是指所有城市、城镇或其他类似聚居区的市政类用水水权，这类用水包括公园用水、街道洒水和消防用水等。市政水权同样也具有较高的优先权。

（3）工业水权。工业水权是指有特定工业用水需求的企业类用水水权。工业一般包括采矿、锯木、纸浆制造、热电厂冷却、钢铁冶炼以及食品工程等，但远远不限于这些工业用水。

（4）灌溉水权。灌溉水权也可以称作农业水权，是指用于农业灌溉的水权。在世界各国，农业用水是主要的消费性用水，其用水量占全部用水量的75%左右。在美国，最早建立水权体系的便是灌溉水权。

（5）水力发电水权。水力发电是需要水权许可的一种非消费性用水。发电用水可能需要改变天然径流、进行水资源存蓄和水资源引取。而这些变化又会影响其他类用水。发电得益于水库的高水位，但消费性和河道内用水则要求减少蓄水量，两者是相互冲突的。

（6）航运水权。对于可航运的水域必须具有航运水权，航运水权是可以规范的商业行为。因此，航运水道的用水必须有利于航运，当进行其他用水权分配时，航运水权被视为一种兴利用水加以保护。

（7）河道水权。该水权包括娱乐、鱼类和野生动物保护及出于美学价值的用水水权。这类水权倾向于社会化，有益于一般公众价值。因此，为保护生态环境，河道中的最小流量必须得到保证。

（8）生态水权。这是指为稀释废水而利用河道径流和其他淡水水体的用水权。该水权不是一种有益的用水权，但是，为保证水质环境和可持续发展，这种水权必须得到保证。另外，为了保证自然环境的生态平衡所需要的用水权也许是更重要的生态水权。

前面讲到，从水权的内容来看，包括生活用水水权、生产用水水权和生态用水水权，

上述8个方面的水权中，第（1）、（2）项及第（7）项的部分属于生活水权、第（3）～（6）项及第（7）项的部分属于生产水权，第（8）项属于生态水权。

26.3.2 水市场运作的分类

康芒斯最早对交易概念作出系统解释。他认为，交易是“个人与个人之间对物质的东西的未来所有权的让与和取得，一切决定于社会集体的规则。”其实，交易的经济主体，不一定局限于个人之间。交易主体可能是个人，也可能是集体和政府。只要是经济主体之间对某种“物质的东西的未来所有权的让与和取得”均可以称为交易。因此，水权交易就是经济主体之间对于水权的让与和取得。

目前，水权交易已成为经济学研究的前沿和热门话题，按其科学分类是深化研究的基础。

（1）按交易的性质分。按交易的性质可以将水权交易分为康芒斯所指的买卖的交易、管理的交易和限额的交易。康芒斯认为，交易“可以区别为‘买卖的’、‘管理的’和‘限额的’交易”这样3种类型。康芒斯对3种交易的解释是：“买卖的交易通过法律上平等的人们自愿的同意，转移财富的所有权。管理的交易用法律上的上级的命令创造财富。限额的交易由法律上的上级指定，分派财富创造的负担和利益。”这3种交易正好代表了3种制度安排：市场、企业与政府。水权交易也与这种制度安排可以一一对应。在私有水权基础上的水权交易就是买卖的交易，如美国部分地区的水权制度；在公有水权基础上的水资源的计划配置就是限额的交易，如计划经济时期中国的水权制度；在水资源垂直管理、企业化经营中的水务公司就是管理的交易，如目前中国部分城市的水务公司。

需要说明的是，康芒斯的交易概念是一个广义的概念，是一个包括市场、企业和政府这3种主要制度安排的交易概念。我们通常所指的交易是狭义的概念，是康芒斯所说的“买卖的交易”，也就是在水权明晰的前提下经济主体之间的交易。

（2）按交易主体的不同分。按交易主体的不同可以将水权交易分为：政府与政府之间的交易、政府与厂商之间的交易、厂商与厂商之间的交易等。这里的“厂商”就是微观经济学中生产者行为理论所讲的厂商，可能是一个企业，也可能是一个农户。这是一个区别于政府的概念。如果就“厂商”和“政府”分别作为买方和卖方进行两两组合，可能存在以下几种情况：一是政府（买方）与政府（卖方）之间的交易；二是政府（买方）与厂商（卖方）之间的交易；三是厂商（买方）与政府（卖方）之间的交易；四是厂商（买方）与厂商（卖方）之间的交易。见表26.1。

表26.1　　水权交易主体的买卖关系

买方	卖方		买方	卖方	
	政府	厂商		政府	厂商
政府	A：政府与政府	C：政府与厂商	厂商	B：厂商与政府	D：厂商与厂商

A交易发生在两个政府之间，浙江省东阳市政府与义乌市政府之间的水权交易就属于这种情况；B交易发生在厂商与政府之间，浙江省永嘉县农业局与3个农民之间关于楠

溪江水资源的租赁交易属于这种情况；C 交易发生在政府与厂商之间，在水权私有制度下，政府为了公共事业建设需要购买私有水权就属于这种情况；D 交易发生在厂商与厂商之间，甘肃省张掖市民乐县洪水河灌区农户之间的水权交易、上海市阂行区企业之间的水污染权交易就属于这种情况。

（3）按交易的时间长短分。

水权的市场交易因水权的法律特征、交易与开发的成本和买者与卖者的偏好的不同存在不同的类型。他们将水权交易分成 4 种基本类型：①水权的出售（sales），这是包括收益、成本、义务、风险等在内的永久性的交易；②水权的租赁（leases），这是时间长度从单个季度到几十年的暂时性的交易；③水权的选择（option），这是兼有出售和租赁性质的水权合同的签订；④水权的协商调整（negotiated adjustments），这不是水权从一个参与者向另一个参与者的转移，而是各个参与者之间一致同意。

按水权交易时间长短也可分为：临时交易、永久交易与水权租赁。临时交易是最为广泛的交易形式，工农业生产在促进水权交易市场方面发挥了主要作用。临时交易主要发生在一年内的水调配量在不同用户之间的转移，但水权仍旧由原所有者掌握。由于是临时性的水权交易，因此价格也相对低一些，价格的变化主要取决于水权拥有者提供的水量可靠性，以及水量调配基准、作物生长期及特殊作物的市场价格等因素。永久的水权交易意味着部分或全部水权的完全转让，其中包括销售者的部分或全部水权的永久减少或签发新的水权许可证给购买者。永久交易与临时交易不同，它需要经过一定的法律程序，因此也需要相当长的时间。如果一个灌溉企业的水权进行永久交易被出售，那么灌溉取水许可证相应地取消，灌溉农田将成为旱地。随着市场发展，永久交易和临时交易两种类型之间的区别日趋减少，而水权的租期在不断延长，租期内由买方拥有水权，期满后再转移回卖方，因此产生了水权租赁的交易方式。水权租赁是临时交易与永久交易之间的一种特殊类型。

根据我国南水北调工程建立的水市场框架模型和我国水资源的分布特点，可以把水市场划分为两类 3 个梯级层次：第一类是流域内的水市场，又分为一级市场、二级市场、三级市场；第二类是跨流域的水市场。流域内的一级市场是流域内的一级用水户之间的水权交易市场，实现本流域内的水资源的优化配置，是所有权实现的市场。二级市场是流域内的一级用水户与其他地域或水系范围内的水厂、农业灌溉公司间以及各水厂、农业灌溉公司间的商品水买卖市场，实现本地区或水系范围内的水资源的优化配置。在这个市场里，在保证人的基本生活用水、粮食安全生产用水的前提下，其他社会经济多样化用水实行自由竞争，市场调节。三级市场也就是消费市场，实现一个城市或一个灌区范围内的水资源的优化配置。第二类跨流域市场，由水供给的提供地区（一级用水户）和各跨流域的需水地（一级用水户），以及国家共同出资组成调水股份有限公司，负责调水工程的建设与运营。

水资源、水市场运作可分为：

（1）一级水权市场的运作。即在我国水资源归国家所有，水资源的所有权由国务院代表国家行使。所以一级市场实质上是国家对水权的初始分配，由政府垄断，只有国务院水行政主管部门或其授权的组织才能依法组织水权的出让。初始水权分配就是界定水资源的使用权，根据不同水平年的水资源量确定各水权人的水权量的过程。初始水权分配的基础

是《中华人民共和国宪法》和《中华人民共和国水法》等法律法规确定的基本制度，并且遵循一定的原则。初始水权分配的原则包括以下内容。

1）可持续原则。水资源和水生态遭到破坏必然影响自然界支持当代和后代人生存和发展的能力。因此初始水权分配必须坚持可持续原则，统筹考虑经济社会发展需要和水资源承载能力及水环境承载能力，实现经济社会与水资源、水环境的协调发展。

2）公平原则。由于水资源对于人类的不可或缺性，在其配置中必须充分体现出公平性，这样才能保证落后地区和贫困人口获取他们生存发展所必需的水资源。当然在满足公平的前提下应该兼顾效率，尽量将水资源配置到用水效率高、效益好的地区、行业和用水户。

3）留有余量原则。考虑到各地区经济发展的不平衡，需水发生时间不同，人口的增加和异地迁移等情况会对水资源产生新的基本需求，故初始水权分配需适当留出一定的余地。

4）公众参与原则。初始水权分配应体现公开、公正原则，鼓励公众参与初始水权分配方案的制订，增加方案形成和执行过程中的透明度。成立用水者协会，负责各协会范围内初始水权分配的监督和协调工作。

（2）二级水权市场的运作。水权的初始分配是一种行政配置，主要体现的是人们在水权拥有上的公平权利。当水权界定清楚后，水权就有了排他性，对于具有排他性使用权利的资源配置，市场机制更有效率。因此，在水权初始配置完成后，有必要建立起二级水权市场（即水权交易市场，所进行的是用水户之间的水权转让交易），由市场来完成水权的再分配工作。在市场机制的作用下，水资源会不断地从低效率使用向高效率使用转移，从而达到提高水资源利用效率，实现水资源优化配置的目的。

26.3.3 水市场运作的法律地位

国家和用水地区、部门、单位是水资源和水市场运作的主体。水权交易一般分为：政府与政府之间的交易、政府与厂商之间的交易、厂商与厂商之间的交易等。

在水权市场中，合法的水权和水权贸易作为一种财产权得到法律的确认和保护，为了保障水权市场的良好运行，使水资源的开发、利用和保护能够取得良好的经济效益、环境效益和社会效益，还需要完备的法律责任制度。明确的法律责任对于水权人财产权益的实现，环境生态破坏的恢复，第三人利益和公共利益的保护都具有重要的意义。

1. 行政法律责任

行政法律责任是指因违反涉及有关水权的法律或法规规定的事由而应当承担的法定的不利后果。行政法律责任包括内部行政法律责任和外部行政法律责任，内部行政法律责任是指行政机关及其工作人员、授权或委托的社会组织及其工作人员在行政管理中因违法失职、滥用职权或行政不当而产生的行政责任，如水权登记机关对于合法有效的水权无故撤销以及滥用职权对不合登记要求的水权给予办理登记、过户手续等。外部行政法律责任是指公民、社会组织等行政相对人违反行政法律或法规而产生的行政责任，如未经批准擅自取水或未依照批准的取水许可规定条件取水的。

2. 民事法律责任

涉及水权的法律责任大量适用的是民事法律责任，包括违约和侵权。违约责任是指水

权合同的一方当事人不履行合同义务或者履行合同义务不符合约定所引起的法律后果，引起违约责任的，应当根据《中华人民共和国合同法》的有关规定依法承担继续履行、采取补救措施或者赔偿损失等违约责任。具体而言，在水权的出让、转让过程中，当事人双方都应该遵守合同的约定，根据合同的相对性原则，履行对对方的承诺，支付对价，并协助对方完成水权过户等手续。侵权责任是指行为人违反法律规定的义务而应当承担的法律后果，包括一般侵权和特殊侵权。一般侵权行为是指行为人基于过错而造成合同相对人以外的他人的财产或人身损失，并应由行为人自己承担责任的民事违法行为。特殊侵权行为是相对于一般侵权行为而言的，指由法律直接规定的，不以行为人主观过错的存在为前提，无需具备一般侵权行为的成立要件而必须就他人人身、财产损害负民事责任的民事违法行为。举例来说，享有合法水权的水权人在进行工业开发、资源开发活动中，虽然没有违反法律、法规的规定，由于危害环境的行为，对环境造成的一定影响和损害，并对第三人造成了财产和身体上的损失，从主观要件来说，该行为人并无故意或过失，然而从所引起的后果来说，却又造成了损害后果的客观事实，而这些后果又是无法避免的，具有合理性和合法性。在这样的情况下，为了保障公共利益和公民个人的利益，需要引起损害的行为人承担相应的民事责任，对利益受损的公民作出补偿并承担对于环境的破坏而引发的环境责任。对于此种原因所引起的法律责任，举证责任也有其特殊性，采取举证责任倒置的原则，即由引起侵权损害责任的行为人举证其免责事由，这也是符合现代环境法的发展趋势的。由于环境侵权所引起的损害赔偿数额十分巨大，有时行为人无力全部承担，所以目前国际上有公害损害赔偿社会化的趋势，也就是由可能造成公害的企业或个人定期交纳一部分款项建立公害赔偿基金，以弥补实际损害赔偿数额的不足。

3. 刑事法律责任

刑事法律责任是指因违反刑事法律而应承担的法定的不利后果，在责任制度中，刑事法律责任是最严厉的一种法律责任，故意或过失是承担刑事法律责任的主观要件，也是区分罪与非罪的重要方面。行为人违反了《中华人民共和国刑法》有关规定的，承担刑事法律责任；尚不够刑事处罚的，承担相应的行政法律责任和民事法律责任。在水资源日益重要的今天，刑事法律责任作为保护水权和水权市场的最后一道屏障，有其必要性。刑事法律责任一般存在于以下几种情况下：侵占、盗窃水权及水工程等，造成严重后果的；破坏水资源，引起生态破坏和人员伤亡，造成严重后果的；妨碍抢险、抗洪等造成严重后果的，追究刑事法律责任。

26.4 水市场运作结构

26.4.1 交易双方的动机及效益

从经济效率的角度看，流域水权交易内在驱动力是来源于各用水户之间用水边际效益的差异。即只要存在用水户边际效益的差异就存在水资源调度与水权重新分配的潜在效益，只要这种潜在效益大于所需成本，水权交易就会产生。我们以农业与工业用水的例子来说明水权交易的动力。

通常来说，农业用水的边际效益要低于工业用水，两者存在边际效益差。如图 26.1 所示，在正常情况下，农业和工业需水量分别为 AA' 与 BB'。在缺水条件下，假设不考虑

交易成本问题，流域可用水量不能完全满足所有用水户的正常需水。若按优先权方式分配初始水权，农业仍可获取 AA'，水量，工业则只能获取 BA' 水量。在 A' 分界点上，工业用水的边际效益 IA' 要远大于农业用水边际效益 GA'；若按比例分享制分配初始水权，在 C 分界点上，工业用水的边际效益 JC 大于农业用水边际效益 FC；在 A 和 C 点上都存在农业释出低效水资源的压力以及工业补给高效水资源的意愿。如果允许水权进行交易，双方将会在均衡点 E 进行交易，交易产生现有水资源配置的最大净效益范围 $ADEB'$ 和 $B'EHB$，此时工业和农业之间边际效益差为零。而阴影范围 EJF（比例分享制）、EIG（优先权制）等，即为水权交易为比例分享制、优先权制等初始水权配置方式（只要是可能存在边际效益差的方式）所带来的净效益。由此说明，边际效益差是产生水权交易的动力来源。

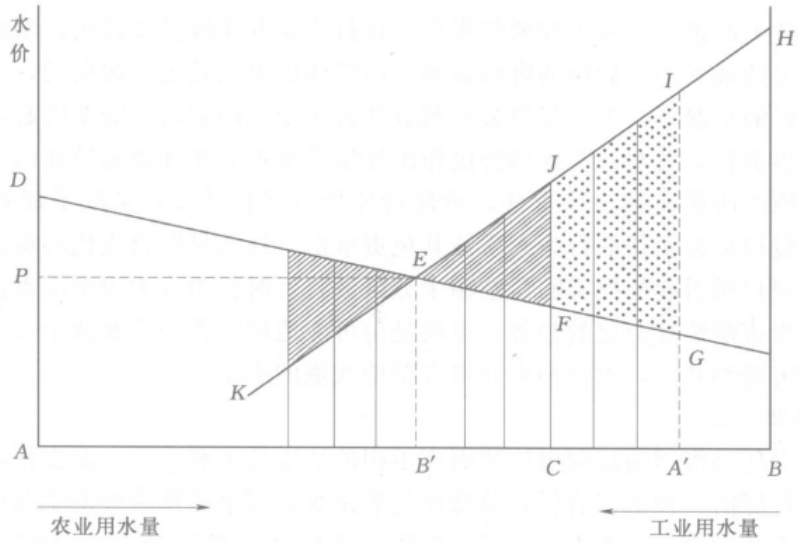


图 26.1　水权交易的动力分析

交易是存在成本的，我们进一步对水权交易的成本与效益进行分析。在实证研究中，对各用户用水边际效益的估计，通常是假设各用水户在充分掌握本身用水信息的情况下，以用水户的对新增用水量的愿付价格（willingness to pay，WTP）与对出让水量的愿受价格（willingness to accept，WTA）作为用水户的边际用水效益。如图 26.2 所示，在既有的水权分配下，假设农业部门为水权市场的潜在卖方，农业部门对移出水量的愿受价格反映出水资源的价值 $Va(w)$，也就是用水的边际效益或减少用水的机会成本与边际损失。相对地，假设工业部门为水权交易的买方，工业部门对增加用水的愿付价格反映出工业用水的价值 $Vb(w)$，也就是工业用水的边际效益。假设在未交易的情况下，农业用水的水权分配为 AC，工业用水的水权分配为 BC，通过水权交易后，农业用水量为 AE，工业用水量为 BE，在不考虑外部性的情况下，此时水资源分配产生的总效益达最大，交易价格 Pw 反映出水资源的市场价值。

如果考虑交易成本，按照水权流转过程中可能涉及的交易成本可分为：

（1）行政引导（administratively－induced）的交易成本。水权交易时所需支付的行

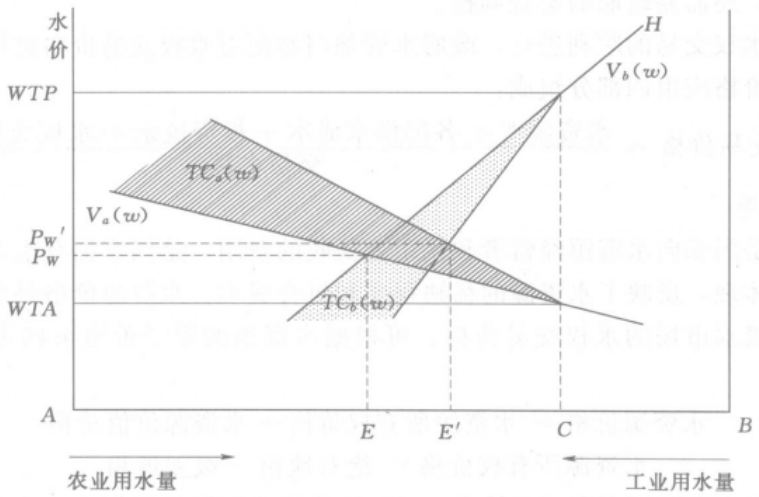


图 26.2　水权交易的成本效益分析

政手续成本，包括寻找交易对象、协商交易数量、补偿金额、与水的运送方式等。

（2）政策引导（policy－induced）的交易成本。基于特殊政策考虑，致使水权交易双方必须支付的成本，例如认定交易水权的法律成本、工程成本、交易的申请与同意过程、对第三者影响及诉讼的成本等。

如果将水权交易双方支付的成本划分为卖方的交易成本 $TC_a(w)$ 与买方的交易成本 $TC_b(w)$，则水权交易的净效益为总效益减去买卖双方的交易成本之和。因此，对用水户而言，将交易成本并入计算后，此时水资源市场的交易量为 $E'C$ 而不是 EC。市场交易价格为 P'_w，其中的交易成本分别由买卖双方吸收，因此水权交易对农业与工业部门的净效益分别为 NB_a 与 NB_b：

$$NB_a = P'_wE'C - \int_{AE}^{AC}[V_a(w) + TC_a(w)]\mathrm{d}w \tag{26.1}$$

$$NB_b = \int_{BC}^{BE}[V_b(w) - TC_b(w)]\mathrm{d}w' - P'_wE'C \tag{26.2}$$

分析表明，对交易双方而言，水权交易的市场潜在效益与交易成本是决定水资源重新分配的关键。只有在双方净效益大于零的情况下，水权交易才有可能发生。至于交易过程所可能产生的外部性成本，有一部分包含在行政引导与政策引导交易成本中，因为水权的流转或交易须经过行政主管部门的审核，在审核过程中已剔除部分的外部效果与冲击。接下来本研究进一步对水权交易产生的外部效应进行分析。

26.4.2　交易价格的确定

市场主要是依靠价格体系来促进资源优化配置和流通的。在水市场上，通常是通过水权交易价格来反映水资源的稀缺程度和供求关系的，水权交易价格是调节水市场良性运行的主要经济杠杆。

一般商品的交易价格都是由市场上的供给和需求决定的，反映了用户之间的经济关系。而由于供水是一种基础产业，水市场只能是一种不完全市场，水权交易价格不能完全

由市场来定价，还需要政府的宏观调控。

为了保证水权交易的顺利进行，政府水管部门必须对水权交易价格进行合理评估。完整的水权交易价格应由四部分组成：

$$\text{水权交易价格} = \frac{\text{水资源费} + \text{各项供水成本} + \text{投资盈余} + \text{水权交易成本}}{\text{交易水量}}$$

1. 水资源费

水资源费是国家向水资源经营者和使用者征收的费用，是国家拥有水资源、实现水资源有偿使用的体现，反映了水资源的稀缺程度和机会成本。水资源价格是水资源费的计费依据，也是一级水市场的水权交易价格，可根据水资源的影子价格来确定，用公式表示即为：

$$\text{水资源价格} = \text{水资源所有权价格} + \text{水资源价值价格}$$

$$\text{水资源所有权价格} = \text{绝对地租} + \text{级差地租}$$

绝对地租是水资源国家所有的体现，是国家出租水资源使用权应得的收益；级差地租是指不同条件下的水资源之间使用价值的差异，也体现了水资源开发利用的程度和水资源的稀缺程度。

$$\text{水资源价值价格} = \text{管理成本} + \text{机会成本} + \text{外部性补偿等}$$

管理成本是指水资源所有者为保证使用者正常用水而开展必要活动的成本，包括水资源勘察、调查评价、规划、管理等有关水资源管理工作的全部成本；机会成本体现的是水资源用于不同用途所带来的不同收益；外部性补偿是对取水给生态环境和他人所带来的消极外部性的补偿。

2. 供水成本

供水成本是水资源经营者（供水单位）为生产水商品和为用水户提供正常供水服务所花费的全部成本，用公式表示即为：

$$\text{供水成本} = \text{生产成本}$$

$$\begin{cases} \text{生产成本} = \text{直接费用} + \text{制造费用} + \text{费用} \\ \text{费用} = \text{销售费用} + \text{管理费用} + \text{财务费用} \end{cases}$$

3. 投资盈余

投资盈余是指供水单位从事水商品生产经营活动所获得的总收益，是衡量企业获利能力的重要指标，主要包括上缴给国家财政的有关税款，及企业内部所应得的利润两部分。

前三部分之和是水资源经营者向下级用水户出售用水权时的供水价格，也是二级水市场中的水权交易价格。

4. 水权交易成本

水权交易成本是指经济主体为使用市场机制所支付的费用，一般包括产权的界定成本、市场信息成本、交易成本、契约的形成和执行成本等，是法律规则、执行和行为规范的函数，与水市场组织、水权交易规则及水权管理等有关，主要由水权制度框架决定。交易成本是水权交易价格中最为活跃的价格部分。

这四部分之和即是三级水市场中各供水单位之间或用水户之间进行交易时的水权交易价格。

水权交易价格是水市场中最关键、最敏感的因素。只有当交易成本小于交易双方的获利空间时，水权交易才可能发生。在市场经济条件下，水权交易价格由交易双方谈判决定，但应在国家政策允许的范围之内。

由于我国目前水市场的发育尚不成熟，为避免在水权交易过程中形成价格垄断和牟取暴利的倾向，国家有必要对水权交易价格进行管制，制定水权交易的指导价格和允许浮动的范围。

对于农户之间的水权交易，国家可以根据水资源供需情况制定指导价格；对于跨行业和跨省区之间的水权交易，国家应规定最高限价，以保证交易双方经济利益的实现。

26.4.3 交易的方式

国家作为国有水资源的终极所有者将一定数量的水权（水的使用权）出让给用水业户，用水业户根据经济效益最大化的原则（或说根据机会成本）作出用水决策，决策的可能结果有两种：一是自留、自用；二是将水权再次转让给他人（两种决策中，哪一种决策的经济价值高，用水业户就选择哪一种）。

水权交易是各国水资源配置优化的一个发展方向。但水权市场却不容易做大，各国水权市场的一个显著的共同点是政府和法律在其中起着主导作用。占用优先原则下的水权转让其实是一个社会和政治问题，是在现行水资源分配体系的稳定性、确定性和高效率、灵活性之间选择，在众多的利益相关者之中，有人获益，有人受损。因此，尽管受益人与受损人通过直接的协商和谈判可以解决许多问题，但最终解决的途径可能是政治决策。水权再分配的渠道一般有两种：一是行政或司法干预下的公共部门用水政策；二是通过水权交易，包括销售、转让、租借等形式来重新获得水权。水权交易形成了水权市场，许多国家的水权管理都经历了从分配使用到逐步放宽交易的过程。

水权交易情况又可分两种，暂时交易和长期交易。一些情况下，水权被长期转让；而在更多情况下，水权占有者将自己过剩的或因减少使用而节省的水资源转让，但同时保留水权。在自由市场条件下，销售和转让是由买卖双方自愿进行的，多数水权的转让是水使用收益较低者向收益较高者转让。典型代表是由农业灌溉用水向城市和工业用水的转让，不同于永久水权转让带来的使用位置，使用性质的永久改变，临时水权转让形式多种多样，包括水权租赁、水市场和水银行等，同时也存在较多争议。有些水市场、水银行是专门为农业用户设立的，但很多也允许将水转让到城市和环境用户使用。在美国，加利福尼亚旱期水银行 1991 年促成了向城市的水权转让，爱达荷州水银行 1979 年开始转向河流用水以保护鲑鱼和水力发电。上述政策制度的修改均在优先占用原则的框架内，并使出售者的水权免于丧失。

26.4.4 交易的法律保障

(1) 作为权威关系基础的水权法。水资源开发制度安排的基本结构是由与水权法有关的决定规则确立的。水权一般指水资源使用权。水权法是一种财产法形式，确立人们使用、支配和处置有效供水要求的权威。作为一种“利用共同财产的个体权”的水权，承认既有利益的个体性又有利益的共同性。个体利益被假定为与其他个体利益在限制利益共同性的共享边界范围内，有着高水平的相互依赖，这种依赖会引起水资源开发制度安排的冲突和高度政治化。因此，我国和世界上许多国家都规定水资源公有，1976 年在委内瑞拉

的国际水法会议就提倡一切水都要公有，或直接归国家管理，并在水法中加以固定。虽然我国法律规定水资源的所有权归国家所有，但并没有规定使用权的归属。在实行水权制度改革后，应建立相应的法律法规保护水权用户的使用权不受侵害，如同保护农民的土地承包权一样。

（2）水权分配制度。水资源的特殊性要求水权的初始分配不仅是一个效率问题，更是一个公平问题。为了保证社会公平，水权的初始分配必须考虑人类生存的基本需要以及原使用者的权利。政府组织根据某一流域的历史水文资料以及该流域的降水量，扣除为了维护生态环境和水资源的再生所必要的蓄水量，然后根据各地区国民经济发展的需要和居民生活的需要，核算各地的需水量和用水量，确定各地区可以从该流域的取水量，这就是水权的初始分配，对于剩余的水权量可以采用拍卖的方式出售给价格最高的竞标者。

（3）水权交易制度。水权交易能否顺利进行，还要看相应的水权市场是否存在和健全，由于水的流动性、储量的变动性，使得水权的定量成本很高，水的重量及其高储藏和运输的困难性，以及水供给的不确定性和随机性，都增加了水权交易的难度。为了保证水权交易的顺利进行，需要政府出面建立相应的交易制度，比如交易者的资格，水权购买者的用水行为限制，提供相应的潜在客户的信息，以及水权交易范围等。

（4）水权监督和管理制度。水权监督和管理制度是影响水权交易制度的绩效和运行成本的主要因素，有效的管理、监测以及处罚机制，可以控制水权的总量分配，降低水权交易的运行成本。水权的外部性和有限性，使得水权用户行使权利时可能发生冲突，需要建立相应的冲突解决机制。各地区为了各自的利益或者过于追求短期利益，而破坏水权制度，需要建立相应的监督机构，监督各个用水户的用水行为，惩罚违背规则的用户。

26.4.5 运作组织

用水者协会是用水户自愿组成的、民主选举产生的管水用水组织，属于民间社会团体性质。它具有法人资格，实行自我管理，独立核算，经济自立，是一个非盈利性的组织，可由用水户按行业、部门等组成，如农民用水者协会、城市居民用水户协会等。用水者协会有自己的章程，协会负责人经过用水者大会民主选举产生。用水者协会的主要职责是：代表各用水户的意愿制定用水计划和灌溉制度；负责将水权分配至各用水户；负责管理配套水利设施，处理用水者用水纠纷；负责与供水公司签订合同和协议，有权跟管理部门协商，参与水价制定以及重大水事活动的听证会，保护用水者的权益；负责制定协会内水权交易规则，提供有关交易信息，组织用水户之间进行水权转让，并监督交易的执行，有权代表本协会的用水户集体购进或出售水权。

用水者协会是国际上推荐的一种比较成功的模式，它为水市场的有效运行提供了保障，这表现在以下 3 个方面：

（1）用水者协会有助于提高水权管理的制度效率。用水者协会成为连接政府与公众的组织桥梁和达成共识的制度渠道，可以提高水权政策制定过程的开放度和信息透明度，有利于水相关利益团体参与政策制定过程，使其利益得到体现。另外，用水者协会在水权制度的实施过程中也起着重要的作用。一般来说，用水者会去观察其他用水者的行为是否遵守规则，是否有偷水行为，并据此作出策略选择。例如当发现某用水户违背了规则时，其他用水户会采取一报还一报（tit for tat）策略，最终会导致集体违背规则而使水权方案无

法执行。而在用水者协会中这种情况则很少发生，因为用水户之间彼此很熟悉，如果一个人屡屡违背规则，将会丧失信誉，从而丧失与他人合作的机会和长期持久的利益。因此，这种声誉机制和长期合作动态博弈约束着每个人遵守共同规则，用水户之间的相互监督和制约，将有利于水权方案的落实和实施，提高水权管理的制度效率。

(2) 用水者协会有助于降低水权交易成本。用水者协会这种组织结构可以从以下几个方面节省交易成本：①信息搜寻的成本，用水者协会组织内部的用水户间进行水权交易，这样信息的搜寻只是局限在一个小范围内，成本是极其低廉的；②讨价还价的成本，水权的买卖主要局限于本协会的用水户之间，大家彼此相互熟悉了解，很容易达成交易，有的甚至无需签约；③监督违约的成本，用水者协会起着仲裁员的作用，纠纷的调解无需通过法院这种高成本的途径加以解决。

(3) 用水者协会有利于提高供水、管水的效率。单个用水户在与供水公司的关系中总是处于弱势地位，而通过用水者协会代表众多用水者与供水公司签订合同和协议，既有助于实现用水者与供水者之间谈判地位的对等性，也有助于供水信息（如水质、保证率、水价的制定依据、水价的调整幅度等）的传递与沟通，从而增强信息的对称性。如果不通过用水者协会而由供水公司直接给众多用水户供水，征收水费，这种一对多的交易方式必然导致交易费用的增加。但借助用水者协会，供水公司可以摆脱在征收水费上的一对多的困境，水费收取率将会提高。

因此，用水者协会作为水市场有效运作的一种组织保障，应该得到大力推广。目前我国已有 19 个省、80 多个灌区开展了试点工作，共组建了 1000 多个农民用水者协会，至于其他类型的用水者协会，尚有待发展。

26.4.6 运作的审批

水资源和水市场运作的审批实质上就是水权使用、水权转让的审批。《中华人民共和国水法》的第 7 条早已规定："国家对水资源依法实行取水许可制度和有偿使用制度。"这就是说，水资源的取用管理和监督，即取水许可，属于行政许可的范畴。因此，取水许可必然适用《中华人民共和国行政许可法》。同时《中华人民共和国行政许可法》第 9 条又规定："依法取得的行政许可，除法律、法规规定依照法定条件和程序可以转让的外，不得转让。"从这一条规定可以解读出：有些行政许可只要有法律规定是可以转让的，那么水权即可以和取水许可联系起来。

水权包括水资源的所有权和使用权。水资源所有权属于国家，转让的只是水资源的使用权。而取水许可正是公民或组织从国家手中获得水资源的取用权。从字面上来看"使用"和"取用"有所不同，但是实际上，要想"使用"水资源，必先"取得"水资源。所以，水权和取水许可在本质上是一致的，因此水权转让和取水许可的转让也是一致的。行政许可的五大类中，有一类是"特许"，即这种行政许可是行政机关依法向相对人转让某种特定权利或者配置有限资源。特许也是一种权利许可，同其他许多权利一样，具有可转让的特性，而且这种转让可以是有偿的。很明显，水资源许可正是为了配置有限的水资源而设，正是属于行政许可五大类中的"特许"，也就是说取水许可具有可转让的特性。

2006 年 1 月 24 日国务院第 123 次常务会议通过，2006 年 2 月 24 日中华人民共和国国务院令第 460 号公布的《取水许可和水资源费征收管理条例》第 27 条规定："依法获得

取水权的单位或者个人，通过调整产品和产业结构、改革工艺、节水等措施节约水资源的，在取水许可的有效期限和取水限额内，经原审批机关批准，可以依法有偿转让其节约的水资源，并到原审批机关办理取水权变更手续，具体办法由国务院水行政主管部门制定。”该条中“并到原审批机关办理取水权变更手续”所指的“取水权”的变更就是指“取水许可”的变更，显然，这个变更是以“转让”为前提。“取水许可”可以转让，就是水资源的使用权可以转让，就是“水权”可以转让。

26.5 政府监管

26.5.1 政府监管的目标和内容

水资源管理的目标是为了规范在水资源短缺情况下人们的生产和生活方式及其相互之间的关系，通过政府监管，促进水资源的可持续利用和水市场的可持续发展。

水资源管理是一项复杂的水事行为，涉及范围广泛。长期以来，对水资源管理的内容局限在水利管理，没有把水当作自然资源和环境要素考虑在内，是狭义的水资源管理。随环境条件变化，水资源管理的内容也不断丰富、拓展。由于水资源供求形势的变化，对水资源管理的研究越来越广泛，多数理论学者主要是从人类涉水事务入手，分析了水资源管理工作“干什么”的问题。进入20世纪80年代以来，运用市场机制来配置有限水资源的要求越来越高，水资源管理也倾向于“资源水利管理”，管理目标逐渐由单一走向综合，管理内容也涵盖了人与水以及所形成的人与人之间的关系的各个方面。对处理人和水的关系更多地反映技术水平的高低，水资源管理制度作为人为创设的制度体系，关键是规范人与人之间的关系，因此不管是在资源管理、环境管理和服务管制中，水资源管理制度是综合运用制度、经济和政策等手段，规范和约束人的行为，达到人与人的均衡。尽管技术与制度两者不可能完全分离，单独讨论技术或制度，很容易陷入“是先有鸡还是先有蛋”的悖论，解决问题的关键是看问题的成因是什么，根据现实实践和众多理论研究学者的结论可以看出，水资源短缺危机的关键是制度因素。因此，水资源管理的主要内容应重点放在制度创新、制度实施上，技术成为促成管理制度有效实施的一个具体手段。比如，现实条件下，我国已经有许多先进的节水灌溉技术，但是应用范围并不广泛，问题的关键是不存在节水灌溉技术广泛应用的制度激励。

因为水资源管理的目的是为了规范在水资源短缺情况下人们的生产和生活方式及其相互之间的关系。现实条件下，水资源管理的主要内容仍然可以从水资源的供给层面和需求层面来考虑，只不过随着时空条件的变化，水资源供给管理和需求管理的内容也要相应改变。供给管理主要包括：水资源配置管理、水资源工程投融资管理、供水价格管制、环境管制等；需求管理主要包括：水资源交易管理、水资源定额管理、产业发展进入管制等。

26.5.2 政府监管的法律保障

市场经济条件下水市场的有效运行有赖于法律保障，即必须借助法律、法规及规范去调节水市场各个主体、各个方面、各个环节之间的利益关系，以保障水市场正常运转和健康发展。其保障作用主要体现在以下几个方面：一是规范水权分配的公平性；二是规范水市场行为，防止出现欺诈、垄断等；三是规范政府与企业之间的关系与行为。

1. 建立与完善水权制度的法律法规

我国现行的各类水利法律法规条例中都未对水权、水权主体、水权分配、水权人的权利和义务、水权交易等作出规定，存在着空白。这样就没有规范水权市场运作的法律依据，水权交易的潜在收益很难得到充分体现。因此应尽快推动水权交易制度方面的法律法规条例的配套、完善，为水权市场的健康发展提供制度保障。

2. 健全水务业方面的法律法规

过去受水资源分割管理体制的影响，涉及水务业管理的诸多部门的政策、法规相互矛盾，相互掣肘，使水务管理工作紊乱，效率低下；或者一些现行的法律法规已经过时，不能满足水务市场化改革的要求。因此应该在水资源统一管理的新体制下，对过去的法规加以修改、整合、完善，过时的则应废止，为水务市场化改革提供法律依据。另外，在水务市场化中，政府与水务企业之间是规制者和被规制者的关系，政府将依照规制法律对水务企业进行监管。但目前我国在这方面还是空白，因此应加快水务业方面的规制立法，实现水务业管制法制化和市场运行规范化，以保障企业的自主经营权，约束企业行为和政府规制职能，防止水务经营企业不正当竞争和政府越权干预。

3. 健全排污权交易方面的法律法规

排污权交易需要一系列的法律法规的支持，但在我国环境管理的最高法《中华人民共和国环境保护法》中对排污权交易尚缺明确规定；在一些地方性法规和规章制度中，虽有这方面内容，却缺乏可操作性。因此需要对现行的法律法规加以配套、完善，增强可操作性，明确规定排放监测、申报登记、许可证分配、许可证交易等重要环节。鉴于排污权交易制度强调政府的监管作用，因此还必须相应地制定一套监管排污权交易市场的法规，以保证其正常运转，保障参与方的合法权益。

26.5.3 效果评价

水权转让市场原则上应以合约化交易为宜，但是，水权转让市场又不能完全按照市场化运作，因为水资源是关系到国家安全和国计民生的重要战略资源，只能是一种“准市场”，尤其是我国水市场发育不完善，相关市场不配套，国家对水权转让市场的宏观调控与监管十分必要。因为水市场的运作、水权转让涉及到的因素较多，包括水价的确定、经济效益、社会公共利益以及竞争的自由公平性和合法性。政府作为水市场的管理者和调控者，行使水行政管理和水行政执法职能，只有加强对水权交易的审查监管，才能保证水市场的正常运作、水权交易的顺利进行。

具体表现为：

(1) 政府可通过水权定价，对不同质的水资源、不同用途的用水、不同成本和效益的水利工程设施，确定一个指导性、前瞻性的价格体系，避免合同主体盲目定价。国家作为水资源的所有者，有权收取因水权转让产生的级差地租。

(2) 政府监管可以保证水权交易的公平性。这种公平应是建立在可持续发展基础上的公平，政府在进行水权原始分配或出让水权时，要公平对待各种水权主体和水市场主体，兼顾供水者和用水者，上游和下游、左岸和右岸的用水者，当代人和后代人，生活用水者，经济用水者和生态用水者的利益。这种公平还应是建立在尊重水权优先权基础上的公平，保证时间上先占有水资源使用权的使用者优先（也即承认历史上已经形成的引水工程

或用水户的优先取水权），水源地区和上游地区水资源使用者优先，距离河流比较近的地区比距河流较远的地区使用者优先，本流域范围的地区比外流域的地区使用者优先，能够证明其合理用水、节约用水的地区或用水户用水优先。要保障水权转让的程序公平，国有水资源使用权出让最好采用拍卖方式。

（3）可以确保社会公共利益。有些水服务主要具有公共物品特征，比如防洪、河道治理、水文监测、水质保护等，具有非竞争性和非独占性，需要由政府来提供这些公共服务，以保障公共利益的实现。由于水资源的稀缺性、多目标性、公共性，水权人行使权利理应受到更为严格的法律限制。在因防洪、抗旱、战争等特殊情况下或者出于公共利益目的的考虑，水行政主管部门有权依法定程序对水权合同进行管制，修改、变更甚至解除水权交易合同，这理应作为合同双方的免责事由。国家也有必要监督转让者必须首先满足自身所需的基本生活和生产用水，防止在利益驱动下，不顾本区域内的用水需求，盲目追求短期利益。

参 考 文 献

[1] 王勤，杨玉农，党卫红．水权交易和水市场［J］．水利发展研究，2002（11）．

[2] 刘洪先．国外水权管理特点辨析［J］．水利发展研究，2002（6）．

[3] 王万山．浅议水权市场的建立［J］．水利经济，2004（5）．

[4] 葛颜祥，胡继连．水权市场运行机制研究．山东社会科学，2006（10）．

[5] 朱春玉．水权制度市场化配置探析［J］．学习与探索，2003（5）．

[6] 王亚华，胡鞍钢．水权制度的重大创新——利用制度变迁理论对东阳—义乌水权交易的考察［J］．水利发展研究，2001（1）．

[7] 李先柏，姜广斌．中国水权制度的构建［J］．水利发展研究，2003（12）．

[8] 苏青，施国庆．从东阳—义乌水权交易看我国水资源配置体制改革的方向——对东阳—义乌水权交易的再认识［J］．水利发展研究，2001（6）．

[9] 葛颜祥，胡继连．水权市场管理问题研究［J］．山东社会科学，2003（1）．

[10] 沈菊琴，陆庆春．浅谈水权市场与水资源资产［J］．中国水利，2003（8）．

[11] 张仁田，童利忠．水权、水权分配与水权交易体制的初步研究［J］．水利发展研究，2002（5）．

[12] 王万山．浅议国外的水权交易与水权市场［J］．水利经济，2004（4）．

[13] 钱燮铭，王伟英．水权转让的实践与认识［J］．水利发展研究，2002（1）．

[14] 陈锋，沈满洪．我国水权理论研究述评［J］．浙江社会科学，2002（5）．

[15] 李原园，刘戈力，高弋绢．水市场与水权交易［J］．水利规划与设计，2004（2）．

[16] 张仁田，陈守伦，童利忠．水权分配与水市场中的水权交易体制［J］．华北水利水电学院学报，2002（2）．

[17] 张云昌．水市场及水价形成机制浅析［J］．中国水利，2003（11）．

[18] 钟玉秀．对水权交易价格和水市场立法原则的初步认识［J］．水利发展研究 2002（5）．

[19] 郑贤君．积极探求水权管理方式促进水资源有偿高效利用．浙江水利科技［J］，2003（2）．

[20] 单以红，唐德善．水权市场结构及其经济学分析［J］．安徽农业科学，2003（5）．

[21] 李洪源，蓝州伟．城市堤防加固与城市景观结合的思考［J］．中国农村水利水电，2002（1）．

[22] 王慧棋，徐雁．对“水权”问题的几点认识［J］．水利经济，2004（11）．